Эврика

М.Гиляров, Д.Криволуцкий

Жизнь в почве

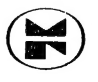


М.Гиляров, Д.Криволуцкий Жизнь в почве

М. С. ГИЛЯРОВ, Д. А. КРИВОЛУЦКИЙ

Жизнь в почве





МОСКВА
«МОЛОДАЯ ГВАРДИЯ»
1985

28.69
Г 47

Г $\frac{2005000000-298}{078(02)-85}$ 274—85

О чем эта книга?

Известный чешский писатель Карел Чапек как-то заметил, что «человек, в сущности, совершенно не думает о том, что у него под ногами. Всегда мчится... И самое большее — взглянет, как прекрасны облака у него над головой. ...И ни разу не поглядит себе под ноги, не похвалит: как прекрасна почва!».

Наша животворная земля действительно прекрасна. Тонким рыхлым слоем выстилает почвенный покров всю «твердь земную». Если приглядеться внимательно (а еще лучше — вооружиться микроскопом), откроются картины необыкновенные. Взору предстанут причудливые архитектурные сооружения, сложнейшие лабиринты, пронизанные ходами, «галереями», «залами», состоящие из бесчисленного множества мельчайших ниш, пор и скважин. И всюду кишит жизнь.

Одних обитателей увидеть несложно. Это — дождевые черви, многоножки, личинки насекомых, мелкие клещи, бескрылые насекомые. В тончайших пленках воды, которые обволакивают почвенные частицы, снуют коловратки, жгутиконосцы, ползают амебы, извиваются круглые черви.

Другой мир недоступен невооруженному глазу. Но в тайны его проникают с помощью микроскопа. Именно благодаря ему мы знакомимся с микроорганизмами — невидимыми тружениками, проделывающими титаническую работу.

И наконец, третий живой компонент почвы — корни высших растений. Они неподвижны, но они живут — растут, дышат, «работают», доставляя из глубин почвы в надземные части растения воду и минеральные соединения, не говоря уже о том, что многие подземные части растений нас еще и кормят.

Но весь этот многообразный почвенный мир редко привлекает внимание.

Когда в начале лета мы входим в цветущий лес, мы замечаем, как порхают бабочки, поют птицы, скачут лягушки. И радуемся, если неожиданно встретим ежа или зайца. И складывается представление, будто именно эти крупные и хорошо заметные животные и составляют основу нашей фауны. А на самом деле все животные, которых легко увидеть в лесу, составляют лишь ничтожную ее часть. Основу же населения наших лесов, лугов и полей слагают почвенные животные.

Некоторые из них известны всем — хотя бы дождевые черви или кроты. Те, кто связан с сельским хозяйством, кто работает на садовых участках или огородах, конечно, вспомнят и о таких вредителях, как проволочники, медведки или филлоксера.

Между тем только в средней полосе СССР на каждом квадратном метре почвы можно встретить до 1000 разных видов почвенных обитателей. Численность же их достигает огромных величин.

Весь этот мир живет по своим законам и совершает в природе работу огромной важности: перерабатывает мертвые растительные остатки, очищая от них почву, создает систему ходов и скважин, по которым к корням проникает воздух и вода, прочную структуру, способную противостоять влаге и ветрам. Как и земледельцы, почвенные животные постоянно перепахивают почву, вынося наверх частицы из нижних слоев.

Многие из них могут разлагать ДДТ и другие органические ядохимикаты, применяемые в сельском и лесном хозяйстве; они также захоранивают продукты промышленных и радиоактивных загрязнений. Иными словами, эти незаметные существа поддерживают в чистоте наш общий дом — Землю. Более того, они еще предупреждают об опасности, которая грозит этому дому, когда люди неразумно ведут себя по отношению к природе.

В наш век бурной перестройки биосферы почвенное население не сдает своих позиций. Например, на пастбищах одних только дождевых червей приходится на один гектар больше (по весу), чем скота, который может прокормиться на той же площади. На полях и в культурном ландшафте почвенные животные остаются последним реликтом бывшего некогда естественного животного населения.

Многого об этом огромном мире мы все еще не знаем. Открытия следуют одно за другим. Только в СССР за последние два десятилетия описано свыше 1000 неизвестных ранее видов животных. Мириады видимых и невидимых почвенных организмов обеспечивают нас пищей, поддерживая плодородие почв. Благодаря им нормально функционируют те природные механизмы, без которых существование человека как биологического вида было бы невозможно. О том, как все это происходит и как человек может использовать деятельность почвенных животных, мы и хотели рассказать в своей книге.

Неведомая земля



В истории не раз случалось, что те или иные науки «вырывались вперед», привлекали наибольшее внимание, становились «модными». Другие же научные дисциплины ждали своего часа, своих открытий, чтобы познакомить человечество с новыми тайнами окружающего мира. По мере развития науки как бы обосабливались друг от друга, углубляясь в свою узкую сферу. Но вот настал момент, когда понадобилось объединить усилия ученых разных специальностей. И на стыке наук стали возникать новые дисциплины.

Так родились физическая химия, химическая физика, молекулярная биология, экологическая физиология. Такой же самостоятельной отраслью научного знания является почвенная биология.

Известно определение почвы, в свое время данное В. В. Докучаевым: «Почвой следует называть дневные, или наружные, горизонты горных пород (все равно каких), естественно измененные совместным влиянием воды, воздуха и различного рода организмов, живых и мертвых». Таким образом, деятельность организмов, в том числе животных, — один из факторов почвообразования.

Ученик В. В. Докучаева В. И. Вернадский, основатель биогеохимии и представлений о биосфере и ноосфере (сфере разума на планете), анализируя различие между живыми и косными (то есть неорганизованными) телами, ввел понятие «биокосных естественных тел». Так он обозначил «закономерные структуры, состоящие из косных и живых тел одновременно» (например, почвы).

Своеобразие почвы, позволяющее рассматривать ее как особое естественноисторическое тело, свойства которого зависят и от населяющих его различных организмов, должно было бы, казалось, привлечь внимание биологов всех специальностей, в том числе и зоологов. Но этого долго не происходило. Земля — та, что у нас под ногами, — оставалась поистине терра инкогнита — «землей неведомой».

Отец современной систематики шведский натуралист XVIII века К. Линней различал лишь три категории природных тел: минерал, растение, животное. Докучаев определял почву как «четвертое тело природы» и превратил почвоведение в самостоятельную естественную науку, имеющую свой объект изучения и требующую специфических методов исследования. У Докучаева еще не было достаточных данных, чтобы оценить роль живот-

ных в почвообразовании, но мысль об этом уже приходила в голову — не случайно в его экспедициях принимали участие зоологи. А в своем классическом труде «Русский чернозем» ученый приводит данные о численности и массе разных групп вредных почвенных насекомых.

В 1839 году по возвращении из кругосветного плавания на «Бигле» Ч. Дарвин опубликовал первый набросок работы о роли дождевых червей в формировании органического слоя почвы. В 1881 году вышла его книга «Образование растительного слоя деятельностью дождевых червей», над которой он работал почти всю свою жизнь. Примечательно, однако, что слово «почва» Дарвин еще не употреблял.

В. В. Докучаев был знаком с трудом Ч. Дарвина и даже высказывался о нем в работе «Русский чернозем», но считал, что данные английского натуралиста завышены или имеют лишь локальное значение.

Некоторая недооценка роли животных Докучаевым объясняется, во-первых, тем, что он работал летом в степях, где, как известно, климат сухой, а в летнее время деятельность почвенных беспозвоночных, и особенно дождевых червей, в этих условиях не слишком многочисленных, вообще прекращается. Во-вторых, 100 лет назад после блестящих открытий Л. Пастера и бурного расцвета микробиологии разложение остатков растений и животных в почве стали связывать именно с деятельностью микроорганизмов. Успехи молодой науки затмили еще не сформировавшиеся представления о роли животных в этом процессе. И в-третьих, надо учитывать, что точных данных о том, какова численность и масса почвенных животных, во времена В. В. Докучаева, в сущности, не было. Отрывочные же сведения обобщить и экологически осмыслить не представлялось возможным. Да и экология еще не сформировалась как наука.

У истоков науки

Изучая биологию почвы, ученые опирались на громадный практический опыт земледельцев, накопленный за многие тысячелетия.

Люди издавна знали о многих почвенных животных (дождевых червях, кротах, насекомых — вредителях корней) и, не ведая ни о каких микробиологических про-

цессах, на практике заботились о земле, чтобы она была плодородной. Хорошо освоил земледелец и те растения, у которых в пищу шли корневые части (например, свеклу, картофель, маниоку). И таким путем постепенно накапливались знания, которые во второй половине прошлого века положили начало новой отрасли науки — биологии почвы.

Здесь необходимо одно отступление. Середина прошлого века была временем, когда начали понимать, какие же реальные биологические процессы происходят в почве, когда осознали, что почва — живая, постоянно меняющаяся среда и что человек способен регулировать ее плодородие. Такому повороту во взглядах естествоиспытателей в огромной степени способствовали работы выдающегося немецкого химика Ю. Либиха. Именно он, как теперь бы сказали, «чистый» химик, а не биолог, заставил самых разных специалистов обратить пристальное внимание на то, что происходит в почве, заглянуть в эту темную, «грязную», на взгляд обывателя, среду.

Да что там начало девятнадцатого века, время декабристов и разгула крепостного права! Еще и сейчас многие люди с высшим образованием никак не свыкнутся с мыслью, что основа всех экосистем суши, начало всех трофических цепей, основная часть животной и почти вся микробиальная масса, половина продуцируемого экосистемой белка, $^2/_3$ генетического фонда живых организмов приурочены к почве.

А что же конкретно сделал Ю. Либих? В первые месяцы 1840 года одновременно на французском, немецком и английском языках появилась его книга «Органическая химия в применении к сельскому хозяйству и физиологии» (или просто «Сельскохозяйственная химия»), которая принесла Либиху огромную популярность при жизни и благодарную память потомков. Его работу высоко оценил К. Маркс: «Выяснение отрицательной стороны современного земледелия, с точки зрения естествознания, представляет собой одну из бессмертных заслуг Либиха».

К. Маркс использовал выводы Ю. Либиха в «Капитале», где сказано: «Капиталистическое производство, постоянно увеличивая перевес городского населения, которое это производство скопляет в крупных центрах, накопляет тем самым, с одной стороны, историческую силу движения общества вперед, а с другой стороны, препятствует обмену веществ между человеком и землей, то есть возвращению почве ее составных частей, использо-

ванных человеком в форме средств питания и одежды, то есть нарушает вечное естественное условие постоянного плодородия почвы».

Точными химическими опытами Либих доказал, что в состав всех растений входят десять основных элементов: углерод, кислород, водород, сера, железо, кальций, магний, азот, калий и фосфор. Первыми тремя элементами в достатке снабжают атмосфера и вода: углекислота обеспечивает растения углеродом, а вода — кислородом и водородом. Остальные элементы, минеральные, поставляет земля. Анализы почвы убедили Либиха, что она может в достатке дать растениям все нужные элементы, кроме азота, фосфора, калия. И был сделан правильный вывод, который вроде бы напрашивался сам собой, но никем ранее не был ни четко осознан, ни методически «чисто» доказан, ни недвусмысленно высказан: для поддержания плодородия почвы надо постоянно вносить в нее эти элементы — причем столько, сколько она теряет, «выдавая» сельскохозяйственную продукцию.

Доказательство необходимости возвращения полям утраченных ими минеральных веществ, а следовательно, производства и применения минеральных удобрений — главная заслуга Либиха. Существовавшую в его время систему земледелия он называл «системой грабежа» и приводил яркие примеры: «Действия земледелия, основанного на грабеже, нигде не были так очевидны, как в Америке, где первые колонисты в Канаде, в штате Нью-Йорк, в Пенсильвании, Виргинии, Мэриленде и т. д. находили пространства земли, доставлявшие вследствие одной вспашки и после того много лет подряд постоянные урожаи пшеницы и табака, причем земледельцу вовсе не нужно было думать о возвращении полям того, что он у них отнимал в составе хлеба и табачных листьев.

Все мы знаем, что стало с этими полями. Менее чем в течение двух поколений эти столь богатые нивы были превращены в пустыни, и во многих районах они были приведены в такое состояние, что даже после оставления их под пар в течение целого столетия они уже не давали более вознаграждающих урожаев зерновых».

Увы, такая порочная система земледелия и сейчас еще практикуется во многих районах Земли, где минеральные удобрения из-за их высокой стоимости недоступны миллионам мелких единоличных крестьянских хозяйств. Между тем уже земледельцы древности знали, что поля нужно удобрять.

В XIX веке на помощь практике пришла теория, объяснившая, как биогенный, то есть вызванный живыми существами, круговорот элементов осуществляется в природе. Оказалось, что растения лишь одно из звеньев в этом сложном механизме: они обеспечивают синтез органических веществ, избирательное накопление отдельных элементов. Основным потребителем живых тканей растений и части их мертвых остатков выступают животные, а трупы животных и значительную долю остатков растений перерабатывают микробы, доводя разложение до простейших химических соединений и возвращая почве то, что когда-то поглотили растения. Так совершается биологический, или биогенный, круговорот вещества.

А составными звеньями этого круговорота в почве является «великая триада»: микроорганизмы, корни высших растений и почвенные животные.

Немалая заслуга в изучении почвы принадлежит Д. И. Менделееву. Его как исследователя интересовали прежде всего методы рационального ведения сельского хозяйства. Еще в студенческие годы он опубликовал в «Журнале Министерства народного просвещения» такие работы, как «Влияние азотнокислых солей на растения», «Откуда берется азот в растениях».

В апреле 1866 года на заседании Вольного экономического общества России Менделеев предложил программу возделывания опытных полей. Общество ассигновало на эти опыты около 7 тысяч рублей. Так удалось, хотя средства были и невелики, организовать в России четыре опытных поля. Наблюдения вели ученики и знакомые Д. И. Менделеева: К. А. Тимирязев — в Симбирской губернии, Г. Г. Густавсон — в Смоленской, Т. А. Шмидт — в Московской, А. В. Советов — в Петербургской. По точности и многосторонности, географическому подходу менделеевские опыты стали исключительным событием не только для России, но и для всего мира.

Думая о будущем России, ученый ставил такие проблемы развития сельского хозяйства, осуществление которых стало возможным лишь в советское время. Это — введение травопольных севооборотов с системой удобрений, механизация сельскохозяйственных работ, мелиорация и орошение, полезащитное лесоразведение. Он писал: «Наибольшего и наивернейшего успеха, по моему мнению, можно ждать от устройства орошения больших пространств земли по сухим в климатическом отношении берегам низовьев Волги, Урала, Дона и Днепра. Особую

важность во всех отношениях... должно иметь устройство обширных площадей орошения по берегам Волги...»

Вера в неисчерпаемые возможности позволила ему сделать вывод, правильность которого подтверждена историей: «Сила народная будет определяться умелым сочетанием индустрии и сельского хозяйства».

Незримые соседи

Микроорганизмы — мельчайшие живые существа, в большинстве своем одноклеточные, были открыты голландцем А. Левенгуком в конце XVII века. Левенгук создал уникальные микроскопы, имея в объективе всего лишь одну двояковыпуклую линзу, они давали увеличение в 250—300 раз. Очень долго прогресса в изучении этого загадочного живого мира не наблюдалось, пока гениальный французский ученый Л. Пастер не проник в тайны многих процессов в природе, регулируемых микробами. К этому времени, середине XIX века, были созданы вполне пригодные для повседневной работы микроскопы, а знаменитый немецкий микробиолог Р. Кох, современник Л. Пастера, придумал ряд простых приемов, позволяющих не только изучать, но и культивировать микробы. Эти приемы используются в лабораториях и поныне.

Незримый мир бактерий, риккетсий, вирусов, лучистых грибков и плесневых грибов, дрожжей и других микроорганизмов повсюду окружает нас. Воздух, которым мы дышим, вода в прудах, озерах, морях и океанах, почва, дающая жизнь растительному царству, руда, из которой выплавляется металл, пищевые продукты, приобретенные на рынке или в магазине, книга, которую мы читаем, и рука, переворачивающая очередную страницу, густо населены микроорганизмами. Они живут в самой глубокой океанской впадине и на высочайшей земной вершине — Эвересте, их находят во льдах Арктики и Антарктиды и в подземных источниках горячих вод. Их обнаружили в пробах воздуха, взятых на высоте 85 километров геофизическими ракетами, и в охладительных контурах атомных реакторов.

Тысячи лет назад люди научились использовать процессы брожения для получения сыра, кваса, хлеба. Но то, что брожение вызывают особые микробы и что они обычный компонент почвенной микрофлоры, стало известно

лишь в середине прошлого века благодаря гигантским успехам микробиологии.

Основы ее заложил Л. Пастер. Остроумнейшими опытами он опроверг прежнее представление о самозарождении микробов. Ученый показал, что брожение, гниение и заразные болезни вызываются особыми микробами. Он предложил простые способы обеззараживания продовольственных продуктов и хирургических инструментов; эти способы с тех пор так и называются по имени автора — пастеризацией.

В мире микробов действуют те же законы, что и в остальной живой природе. И здесь идет жестокая повседневная борьба за существование, борьба за пищу и место, за право оставить потомство.

У микробов для защиты и нападения есть и свое оружие. Это химические вещества, которые образуются и накапливаются внутри клетки или выделяются в окружающую среду. Но микробы враждуют не только с внешним миром, а и между собой. Этот антагонизм между микроорганизмами как внутри одного вида, так и между разными видами отметил впервые Л. Пастер в 1877 году.

И вскоре возникла мысль использовать этот антагонизм для лечения инфекционных заболеваний. Ее всесторонне и глубоко обосновал И. И. Мечников. Он доказал, что молочнокислые микробы подавляют развитие вредных гнилостных бактерий, обитающих в кишечнике животных и человека. Ученый полагал, что хроническое действие ядовитых продуктов гниения и маслянокислого брожения в кишечнике приводит к преждевременному старению. И он предложил использовать болгарскую простоквашу и применяющиеся при ее изготовлении молочнокислые бактерии для лечения кишечных заболеваний. Это была первая в истории науки успешная попытка применения микробов-антагонистов и продуктов их жизнедеятельности для лечения и предупреждения заболеваний, вызванных другими микробами.

В Пастеровском институте, созданном в 1888 году в Париже на средства, собранные по международной подписке, была организована и первая в мире лаборатория почвенной микробиологии. Ее возглавил русский ученый С. Н. Виноградский (1856—1953). Основоположник почвенной микробиологии, он в 1890—1892 годах доказал, что микроорганизмы могут создавать органическое вещество из неорганического соединения — углекислоты, ис-



пользуя энергию окисления минеральных веществ, например окисления аммиака в азотную кислоту. А в 1953 году, также впервые в мире, была организована кафедра микробиологии почв на биолого-почвенном факультете Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова. Первым заведующим кафедрой стал Н. А. Красильников — член-корреспондент Академии наук СССР, удостоенный в 1951 году Государственной премии СССР за работы по изучению микробов как организмов, способных создавать антибиотики.

Мы редко задумываемся о том, насколько лик нашей планеты зависит от деятельности микробов. А между тем именно эти организмы, появившиеся задолго до растений и животных, смогли из газов первичной атмосферы Земли (метана, водорода, аммиака, углекислоты, водяного

пара) образовать ту привычную для нас атмосферу, где 78 процентов приходится на молекулярный азот, а 21 — на кислород. Со временем высшие растения заняли место микробов, которые, правда, тоже могли использовать солнечный свет, но, вероятно, не столь эффективно. Однако высшие растения не способны усваивать молекулярный азот, и без содружества с микробами они не смогли бы существовать долгое время. А животные?

Микроорганизмы населяют желудочно-кишечный тракт животных и человека, и без них невозможны важные биохимические процессы превращения веществ, биосинтез аминокислот, витаминов и других необходимых биологически активных соединений. Почвенные микробы также тесно взаимодействуют с почвенными животными. Еще в начале нашего века известный польский микробиолог К. Бассалик исследовал микробы, обитающие в кишечном канале дождевых червей. В ту пору было известно, что черви пропускают через кишечник огромное количество земли, но никто не знал, как это отражается на почве. К. Бассалик доказал, что в кишечнике червей происходит гумификация — превращаются в перегной такие органические соединения, как целлюлоза, лигнин, гемицеллюлоза, и что в этой специфической среде постоянно обитает около 90 видов микробов.

Позднее подобные наблюдения проводились и над другими животными. Оказалось, например, что у термитов, являющихся основными разрушителями растительного опада (опавших листьев, плодов, ветвей) в тропиках, жизнь и пищеварение целиком зависят от микроорганизмов, которые обитают в кишечниках этих насекомых.

Очень показателен пример жвачных животных. В обиходе принято считать, что они питаются растительной пищей — травой, сеном, силосом и т. д. На самом деле теленок, корова, так же как ягненок или баран, усваивают в основном не сами растительные корма, а продукты переработки этих кормов микробами (бактериями, инфузориями, грибками, в том числе дрожжами).

Трава, сено, силос, съеденные теленком, коровой или быком, после разжевывания попадают в преджелудки, рубец, сетку и книжку, где становятся добычей великого множества микробов. Преджелудки и главная их часть — рубец — это не что иное, как своего рода биохимический завод, в котором мириады микробов днем и ночью преобразуют углеводистые и азотистые вещества кормов в высокоценный белок, аминокислоты, витамины и другие

питательные вещества, необходимые для нормальной жизнедеятельности организма животного.

У взрослых быка или коровы емкость рубца составляет от 100 до 250 литров, а в каждом миллилитре рубцовой жидкости насчитывается от 8 до 15 миллиардов бактерий, иногда же их количество достигает 40—46 миллиардов. Под действием микробных ферментов в преджелудке переваривается от 70 до 80 процентов сухих веществ корма. Полагают, что от 50 до 80 процентов азотистых веществ рациона перерабатывается в микробный белок, который и служит для животного организма источником аминокислот.

Таким образом, жвачные животные питаются не столько белком кормов, сколько более ценным белком микроорганизмов. В рубце коровы за сутки синтезируется от 700 до 900 граммов бактериального белка, а в рубце овцы — от 20 до 100 граммов. При среднем удое в 20 килограммов корова выдает с молоком за сутки около 700 граммов белка. Следовательно, этот расход может полностью покрываться микробным белком, поступающим из рубца. Поэтому экологи говорят о «внутренних пищевых цепях» в организме жвачных. Но такие же процессы свойственны и другим травоядным животным, в том числе многим почвенным, которые заметную часть белкового питания получают, переваривая микробов.

Трофические (пищевые) цепи всего населения планеты начинаются с растений и микроорганизмов, которые в результате фотосинтеза или хемосинтеза продуцируют, создают из простых минеральных веществ очень сложные органические вещества, богатые связанной энергией солнечных лучей или химических соединений.

Далее пищевые цепи включают растительноядных животных. Они поедают организмы, создающие первичное органическое вещество (продуценты), и, в свою очередь, служат пищей для плотоядных (например, мелких хищников, которые часто сами становятся кормом для более крупных хищников, настигающих свою жертву на лету, на бегу или в воде). Сюда же относятся паразиты животных.

Замыкают пищевые цепи сапрофаги (от греческих слов «сапрос» — гнилой и «фагос» — пожиратель). В основном это микроорганизмы — бактерии и грибы, которые питаются трупами, растительным опадом, постепенно разлагая, минерализуя органические вещества и возвращая их в мир неживой природы. Среди сапрофа-

гов — множество почвенных животных, которые переваривают мертвые ткани растений вместе с заселяющими их микробами. Но окончательное разложение и самих животных — сапрофагов, и их экскрементов выпадает на долю микробов.

Академик А. М. Уголев обратил внимание, что процессы поглощения и распада органических веществ в природе на всех уровнях трофической цепи, на всех уровнях организации биологических систем имеют очень много общего. Сейчас происходит становление новой научной дисциплины — трофологии, которая изучает закономерности ассимиляции (то есть поглощения и усвоения) веществ живыми организмами на всех уровнях.

Доказано, что, несмотря на фантастическую разницу в масштабах явлений, которые происходят на клеточном уровне, в организме или в биосфере в целом, многие закономерности ассимиляции универсальны. Взять хотя бы такой процесс, как деполимеризация (гидролиз, переваривание) пищевых продуктов, в результате чего уничтожается их специфичность, принадлежность определенному виду животных или их органу, и образуются такие формы утилизируемых веществ, которые могут транспортироваться через клеточные мембраны. Сравнительно недавно стало понятно, что у всех живых организмов — от бактерий до млекопитающих — есть три основных типа пищеварения: внеклеточное, мембранное и внутриклеточное.

При внеклеточном пищеварении клетка выделяет растворимые ферменты «наружу», где они разрушают крупные молекулы или агрегаты пищевых веществ, осуществляют их начальное переваривание. Ферменты, которые связаны с клеточной мембраной, гидролизуют мелкие молекулы и способствуют всасыванию полученных полупродуктов. После того как эти вещества проникли внутрь клетки, их переваривание завершают ферменты в цитоплазме или в специальных полостях — вакуолях.

Поразительно сходны у всех живых существ, включая бактерии и дрожжи, механизмы переноса пищевых веществ через клеточные мембраны. Это единство механизмов переваривания пищи, как и единство химического состава организмов, является основой, на которой разные живые существа могут находить между собой «общий язык», совместно или поэтапно ассимилировать одну и ту же пищу, например растительные ткани.

Но нам бы хотелось обратить внимание на другое:

именно благодаря деятельности микроорганизмов смогла возникнуть на суше основа существования растений, животных и человека — плодородная почва. Не случайно в земледелии многие приемы агротехники направлены на создание благоприятных условий для деятельности почвенной микрофлоры, от которой зависит урожай.

По своей численности и плодовитости микробы значительно превосходят все другие организмы, вместе взятые. И по своим функциям микробы служат опорой всего живого — ведь они важнейшие звенья в круговороте веществ на планете. Да и по возрасту они самые древние среди живых существ.

И вот что любопытно: животные и растения не могут существовать ни друг без друга, ни без микробов. Микробы же не нуждаются в чужих соседях. Два миллиарда лет назад только они одни и существовали на нашей планете. Все другие формы жизни возникли не более одного миллиарда лет назад, причем и растения и животные могли произойти лишь от тех же самых микробов.

С микробами теснейшим образом связаны и высшие растения.

В середине XIX века одной из острых проблем практического земледелия было обеспечение почвы азотом в доступной растениям форме (атмосферный молекулярный азот они не усваивают). И здесь давний практический опыт заставил приглядеться к бобовым растениям, особенно к клеверу, поскольку было доказано, что они обогащают почву азотом. Но как это происходит?

Руководитель одной из сельскохозяйственных опытных станций в Германии Г. Гельригель в 80-х годах прошлого столетия обнаружил, что атмосферный азот бобовые растения усваивают благодаря особым клубенькам на их корнях. Гельригель предположил, а затем доказал экспериментально, что фиксируют азот не сами бобовые растения, а какие-то еще неизвестные в то время микроорганизмы, которые являются симбионтами (сожителями) растений.

Заслуга же открытия клубеньковых бактерий принадлежит русскому микробиологу М. С. Воронину, который в 1866 году опубликовал подробнейшее описание возникновения клубеньков на корнях ольхи и люпина и развития микроорганизмов в этих клубеньках. Гельригель знал о работах Воронина и опирался на установленные им факты. Работы Воронина вызвали оживленную полемику в научных кругах: не все приняли его вывод о бактери-

альном происхождении клубеньков, некоторые полагали, что здесь присутствуют споры гриба или же «выродившиеся» грибы.

Вопрос этот окончательно решен был лишь выдающимся голландским микробиологом М. Бейеринком, который взялся проверить данные Воронина. Довольно быстро Бейеринк убедился, что в клубеньках бобовых живут действительно бактерии, но он пошел значительно дальше и получил чистую культуру этих бактерий в специально разработанной им самим среде. В своем капитальном исследовании «Бактерии из клубеньков бобовых растений», опубликованном в 1888 году, Бейеринк подробно описал выделенную бактерию и дал ей латинское название бациллюс радициола (корневая бацилла).

Между тем агрохимики доказывали, что в почвах происходит накопление азота и без участия бобовых растений. Например, А. Н. Энгельгардт, ученый-химик, пропагандист агрохимии в России, автор популярной в свое время книги «Химические основы земледелия», утверждал, что луга обогащаются азотом независимо от наличия бобовых культур. Такие же наблюдения были сделаны в Германии, Франции и Англии. И только после того, как С. Н. Виноградский показал, что выделенная им бактерия клостридиум может усваивать молекулярный азот воздуха, а затем и получил эту бактерию в чистой культуре, наука и земледелие получили ясный ответ: связанным азотом, который доступен растениям, почву обогащают микроорганизмы.

Но благотворное влияние невидимок на почву, а следовательно, и на весь зеленый мир планеты не ограничивается фиксацией молекулярного азота. Микробы разрушают трупы животных, остатки корней, стеблей и листьев растений и превращают мертвое органическое вещество в плодородный гумус, или перегной. Многие органические вещества они преобразуют в более простые минеральные вещества, растворимые в воде и поэтому доступные для растений.

Так обеспечивается на Земле непрерывность процессов образования все новой и новой органической, живой материи. И неудивительно что многие приемы современной агротехники направлены на интенсификацию микробиологических процессов в почве.

Почвенная зоология развилась на стыке зоологии и почвоведения. Зоология — одна из старейших отраслей естествознания, зародившаяся в глубокой древности и нашедшая отражение уже в трудах великого энциклопедиста античного мира Аристотеля. Почвоведение же — сравнительно молодая наука, получившая признание и современное развитие благодаря трудам замечательного русского естествоиспытателя В. В. Докучаева.

Роль животных в круговороте веществ в природе известна натуралистам давно. К. Линней писал, что в тропиках три мухи с их потомством съедают труп лошади быстрее, чем лев. Английский естествоиспытатель В. Кирби в 1800 году описал процесс разрушения мертвых деревьев в лесу и участие в нем насекомых и грибов примерно так же, как ученые, вернувшиеся к этой проблеме через полтора столетия.

Наблюдения петербургского профессора П. А. Костычева, современника В. В. Докучаева, показали, что именно деятельность животных (в его опытах — личинок грибных комариков) способствует превращению гниющих листьев в аморфный перегной. Без животных, если разложение происходит только при участии грибов и бактерий, листья много лет сохраняют свою структуру.

И. И. Мечников в 1880 году писал, что в наших степных районах личинки жука кузьки и близких видов играют такую же роль, как и дождевые черви в более влажных районах. И немудрено, что в последних трудах В. В. Докучаева мы уже читаем: «Попробуйте пройтись по такой целинной древней степи и вырезать из нее кубик почвы, увидите вы, что в нем больше корней, трав, ходов жучков, личинок, чем земли. Все это бурлит, сверлит, точит, роет почву, и получается несравнимая ни с чем губка». Так изменились взгляды В. В. Докучаева менее чем за 20 лет!

Немецкий исследователь Р. Франсэ в 1912 году на страницах нашего старейшего журнала «Почвоведение» выступил со статьей, где говорилось о взаимосвязанных, обеспечивающих циркуляцию материи организмах, никогда не оставляющих почву, — сообществе, аналогичном планктону водоемов.

Почвенная фауна привлекала все большее внимание, методы исследования совершенствовались. Итальянский

зоолог А. Берлезе в 1905 году предложил новый способ быстрого извлечения мелких членистоногих из проб почвы и других субстратов, а когда в 1918 году для нагрева почвы датчанин А. Тульгрен применил в приборе электрическую лампочку, метод получил название «автоматической выборки». Новые приемы, позволяющие учитывать живущих в почве личинок, ввели у нас в практику З. С. Головянко и другие энтомологи.

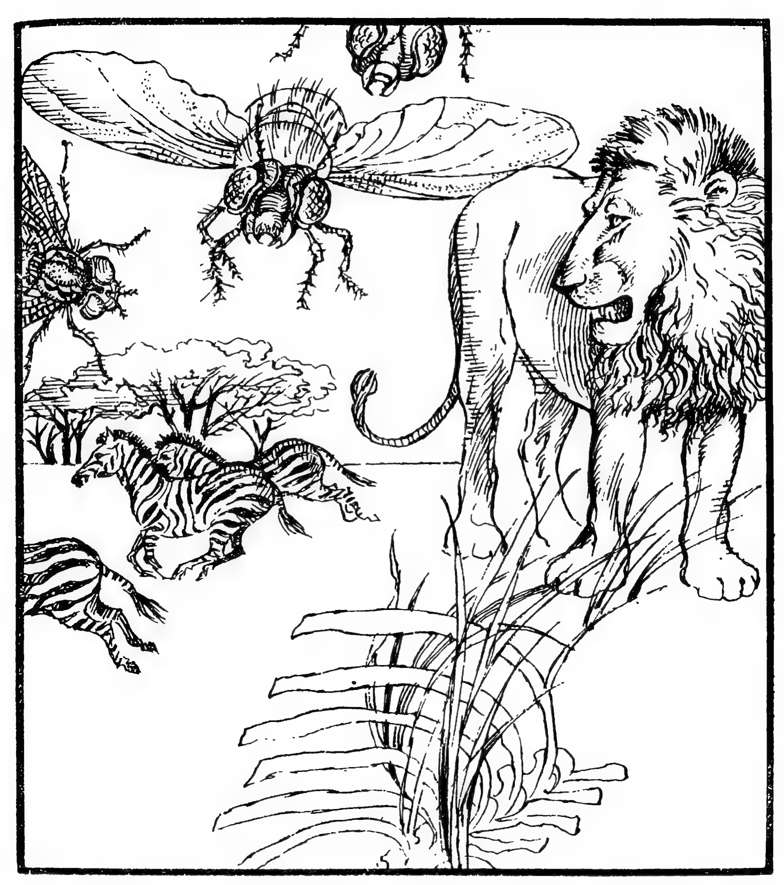
В начале XX века в разных странах стремительно накапливались материалы, касающиеся почвенных беспозвоночных.

В 30-е годы уже было собрано довольно много сведений о численности ряда групп животных в почвах разного типа, под различного типа растительностью, об экологических требованиях некоторых представителей почвенной фауны, об их деятельности в почвах и т. д. Все это позволило М. С. Гилярову обобщить разрозненные материалы, опубликованные в советской и зарубежной печати, и дать в 1939 году в журнале «Почвоведение» краткие обзоры: «Почвенная фауна и жизнь почвы» и «Влияние почвенных условий на фауну почвенных вредителей».

Эти статьи привлекли внимание почвоведов Московского университета, и автору предложили организовать при почвенном отделении геолого-почвенного факультета небольшую лабораторию. Там он составил первую сводку по методам количественного учета групп почвенных беспозвоночных. В этот период проводились исследования взаимосвязи численности почвенных животных, микроорганизмов и корневой массы.

В 1956 году в Институте эволюционной морфологии и экологии животных имени А. Н. Северцова Академии наук СССР в Москве была создана первая в мире специализированная лаборатория почвенной зоологии. Она и по сей день — центр почвенно-зоологических работ в нашей стране.

По мнению М. С. Гилярова, почва представляет собой особую среду обитания, которая для многих групп животных оказалась переходной от водного образа жизни к наземному. Посвященная этой проблеме монография «Особенности почвы как среды обитания и ее значение в эволюции насекомых», изданная в 1949 году, способствовала рождению новой отрасли биологии — почвенной зоологии. Несколько позже стали появляться специаль-



ные книги по почвенной зоологии в ГДР, Австрии, Англии, Франции, ФРГ, ЧССР, Польше и других странах.

Деятельность животных в почвах многообразна. Они не только непосредственно перерабатывают растительный опад, но и стимулируют активность микроорганизмов. При отсутствии животных микробы разлагают опад в два-шесть раз медленнее, он накапливается на поверхности, в лесах резко возрастает опасность пожаров. Рассеивая экскременты по поверхности и в толще почвы, животные разносят и микробов, создают благоприятные очаги для их размножения и деятельности.

Л. С. Козловская в Карелии описала своеобразные отношения между почвенными беспозвоночными и микроорганизмами на примере животных торфяных почв. При прохождении пищи через кишечник животных одни

группы микроорганизмов стимулируются, другие подавляются. При этом либо стимулируется активность разрушителей клетчатки, либо, наоборот, разложение клетчатки подавляется и интенсифицируется трансформация соединений, содержащих азот, с последующим образованием молекул гуминовых соединений. В кишечнике сапрофагов создаются благоприятные условия для массового развития тех или иных представителей микрофлоры.

В процессе трансформации органического вещества большое значение имеет деятельность микроорганизмов-аммонификаторов, фиксаторов молекулярного азота и разрушителей клетчатки. Почвенные беспозвоночные успешно сожительствуют с представителями всех этих групп микрофлоры.

Пропуская через кишечник массу растительных тканей, животные размельчают их и тем самым многократно увеличивают суммарную поверхность растительного материала, доступную микроорганизмам, а также воздействию воздуха и воды.

С помощью собственных ферментов и ферментов симбиотических микроорганизмов беспозвоночные расщепляют целлюлозные компоненты клеток и высвобождают лигнин, который находится в сложном соединении с клетчаткой, что имеет большое значение для развития процессов гумификации органических остатков в почве.

В ходе пищеварения в кишечнике почвенных беспозвоночных происходит частичная минерализация растительных остатков, а у некоторых групп — и частичная гумификация. Экскременты животных — одна из составляющих почвенного гумуса.

Многие почвенные животные заглатывают вместе с органическими пищевыми веществами минеральные частицы почвы, способствующие перетиранию в кишечнике пищи. Проходя через кишечник, минеральные частицы (глинистые, песчаные) перемешиваются, спрессовываются и склеиваются выделениями кишечника, образуя разной величины зернистые комочки. И чем их больше, тем плодороднее почва.

Совершая вертикальные миграции в почве, животные заносят растительные остатки в глубокие горизонты и перемешивают органические и минеральные частицы. Передвижения животных способствуют и улучшению аэрации почвы, что в первую очередь стимулирует аэробные процессы разложения органических остатков.

В обычной почве очень много корней. Мы в этом воочию убеждаемся, когда видим бурты выкопанного картофеля, сахарной свеклы или же маниоки и батата в тропиках. Но не меньше их в естественных, «диких» условиях.

Несколько цифр.

В кустарниковых тундрах масса корней достигает 200—300 центнеров на гектар, что составляет около 80 процентов массы всего растительного покрова.

В лесах на долю корней приходится не столь большая часть всей массы растений (15—30 процентов), поскольку слишком велика здесь масса стволов и ветвей деревьев. И все же абсолютные величины стоят того, чтобы о них упомянуть. В тайге это 300—800, в дубравах несколько больше, а в субтропических и тропических лесах масса корней достигает 900—1000 центнеров на гектар.

Корни проникают в глубь почвы на многие метры, поставляя растениям воду и растворенные минеральные вещества. Корневые системы растений оказывают очень сильное влияние на химический состав и физические свойства почвы, ее проницаемость для воды и воздуха, на образование гумусовых веществ и их распределение. Корни участвуют в разложении минералов почвы, снабжают органическим веществом большинство почвенных микробов и животных.

Очень важна и способность корней выделять органические растворы — экскреты. Они вызывают глубокие изменения в химическом составе почвенной среды, влияют на жизнь микробов, животных, на жизнь других растений.

Изучение физиологии корней, их роли в питании надземной части растения насчитывает почти два с половиной столетия: первая книга на эту тему появилась во Франции в 1758 году. Большой вклад в изучение корневых систем растений внесли наши известные почвоведы Д. Н. Прянишников, В. Р. Вильямс, Н. А. Качинский, С. П. Костычев.

Самые ближайшие к корню слои почвы, так называемая ризосфера, служат ареной бурной микробиологической активности бактерий, актиномицетов, грибов, водорослей и микроскопических животных: простейших, нематод, коловраток. Микробов привлекают не только органические вещества, выделяемые корнями, но и сами

корни, живые и отмирающие. А животные неравнодушны еще и к самим микробам, которыми они питаются. Корни любого растения выполняют множество функций: они создают опору для всего растительного организма, закрепляя его в почве, они поглощают воду, минеральные вещества, в корнях происходит синтез многих органических соединений, через корни выделяются продукты обмена. Для моркови или свеклы корень — место хранения запасов, для осины или сирени — орган вегетативного размножения: от корней идут новые побеги.

«Рабочий орган» корней — корневые волоски — выросты клеток поверхностного слоя молодого корня. Они увеличивают всасывающую поверхность корней, выделяют ненужные вещества, служат опорой для растущей верхушки корня.

Удивительным образованием является микориза (по-русски — грибокорень) — взаимовыгодное сожительство гриба с корнем высшего растения, например гриба подосиновика с осиной или подберезовика — с березой.

Корневые волоски живут недолго, обычно один сезон. По мере роста корня на его верхушке все время образуется зона новых корневых волосков, а старые отмирают. Строение корней разных растений почти так же разнообразно, как и строение надземных частей. У деревьев многие корни живут десятилетия, даже столетия, а у степных трав после плодоношения вся корневая система может полностью отмирать.

Полагают, что количество растительной массы, создаваемой зерновыми культурами, составляет 60—110 центнеров на гектар, а отношение надземной массы к корневой в среднем равно 4 : 1. Так, в частности, обстоит дело с пшеницей, ячменем, кукурузой, овсом. Но нет ничего более утомительного, чем изучение продуктивности корневых систем в полевых условиях. Методика здесь сложна, кропотлива, а ошибки все же возможны, так как отмыть (а без этого невозможно изучать корневые системы) самые мелкие корешочки не всегда удается.

В песчаных пустынях масса корней во много раз, иногда в 10—20, превышает массу надземной растительности.

В прериях Северной Америки ежегодно обновляется около 0,5 килограмма корней на каждом квадратном метре почвы, или 25 процентов их биомассы. Отмирающие органические вещества пополняют запас перегноя в почве, но чтобы «набрать» современное содержание гумуса,

требуется столетие для верхней и около шестисот лет для нижней части почвенного слоя. Разница объясняется тем, что большинство корней сосредоточено в самом верхнем слое, в глубину проникают немногие, а значит, и мала их масса; в глубине к тому же медленнее идут процессы обновления.

Каждый вегетационный сезон происходит нормальное природное отмирание корней и у плодовых растений (корнепад) или циклическое обновление, смена корней системы.

Мы не всегда отдаем себе отчет, в каких гигантских количествах корни «пьют» воду, а цифра — весьма внушительна: для леса она равна почти 10 тысячам тонн на гектар.

Многие корни используются в пищу человеком, а еще чаще — дикими животными, поскольку содержат крахмал, сахара, масла, витамины. Существуют даже специализированные животные, например слепыши, которые питаются только корнями растений, для чего проделывают в почве длинные ходы.

Сложные и многообразные отношения складываются между корнями и почвенными беспозвоночными. Беспозвоночные — сапрофаги проделывают исключительно важную работу, вместе с микробами утилизируя мертвые корневые остатки, освобождая место и питательные вещества для нового поколения растений. Прокладывая подземные лабиринты, они облегчают корням проникновение в глубину, обеспечивают их воздухом и водой.

Но эти отношения далеко не всегда складываются к обоюдной пользе. Многие беспозвоночные, особенно личинки насекомых, питаются живыми корнями растений. Перегрызая корни всходов и сеянцев, особенно у молодых посадок сосны, у свеклы, хлопчатника, насекомые способствуют их заболеванию или даже гибели. Так, за «чахотку» табака в Крыму принимали повреждения корней личинками жука песчаного медляка, настолько были похожи симптомы у заболевших растений и тех, которые пострадали от этих личинок. Личинки долгоносиков ситон развиваются в клубеньках на корнях бобовых там же, где и клубеньковые бактерии, и это тоже вредит растениям.

Однако даже такие обитатели почвы наносят не только ущерб: и они прокладывают растениям ходы, выедают подгнившие участки корня, способствуют расселению полезных микроорганизмов, экскременты животных слу-

жат питательной средой микробам. Правда, не все такие микробы полезны. Порой животные заражают растения вредными микробами, которых заносят в поврежденные участки корня, например нематоды, личинки луковой мухи и луковой мухи-журчалки. Но и корни своими выделениями создают иногда непригодные условия для жизни животных.

На этом основан один из методов борьбы с вредителями растений, которые разыскивают в почве нужные им растения по их «запаху» — корневым выделениям.

Выращивание нескольких сельскохозяйственных культур на одной и той же площади приводит к изменению популяции вредителей, — так утверждает группа биологов из Кембриджского университета. Дело в том, что взрослые насекомые не прочь поживиться и за счет других растений, которые, однако, оказываются совсем неподходящими для них. Обнаружив ошибку, вредители поспешно разбегаются, не успевая подчас отложить яйца. В этом смысле защитником капусты может выступить фасоль, а моркови — лук, который не только отвлекает внимание вредителей, но и блокирует их обоняние острым запахом.

И наконец, надо сказать о дыхании корней. Ведь выдыхаемая углекислота может в почве, где затруднен газообмен, достигать концентрации 10—12 процентов против 0,03 процента в атмосферном воздухе. Все ли животные способны это выдержать?

Так непросто складываются в почве отношения между корнями, микробами и растениями.

Живое прошлое и эволюция почв

Почвы изменяются со временем. Об этом известно любому земледельцу, который, заботясь о плодородии почвы, заправляет ее удобрениями, поддерживает комковатую структуру. Если этого не делать, плодородие иссякает, разрушается водопрочная структура, убывает гумус.

Постоянные изменения почв происходят и без воздействия человека. И такие изменения наглядны, их легко наблюдать: на чистых песчаных наносах поселяются растения, за ними другие, и вот уже песок закреплен, он медленно превращается в почву. Или обнажилась скальная поверхность. Прошло время, и ее заселили лишайни-

ки, потом мхи, за ними травянистые растения, и в скором времени образовался слой почвы, в котором успешно поселяются первые деревья.

Во всех этих явлениях действующей силой выступают живые организмы: сначала микробы, затем лишайники, мхи и высшие растения. Им всюду сопутствуют и почвенные животные: простейшие, нематоды, клещи, ногохвостки, личинки насекомых и дождевые черви. При этом горная порода превращается в почву, все более мощную, все более богатую гумусом.

Было бы неправильным не видеть в этом процессе, называемом эволюцией почвы, также действия атмосферного воздуха, воды и растворенных в ней химических веществ. Наконец, в современную эпоху, названную в начале века известным нашим геологом академиком А. П. Павловым антропогенной, то есть определяемой деятельностью человека, на почвенный покров все большее влияние оказывает человек.

Русскому почвоведению, начиная с работ В. В. Докучаева, было всегда присуще понимание динамики почвенного покрова, изменения почв в пространстве и во времени. В советское время вопросы эволюции почв не раз широко обсуждались, причем иногда эти обсуждения были очень бурными.

Не чужды эти идеи и работам зарубежных почвоведов. Особенно подробно динамика почвообразования, эволюция почв рассмотрены в книге французского почвоведа профессора Филиппа Дюшофура, переведенной в 1970 году на русский язык. На большом материале Ф. Дюшофур показывает, как под влиянием эволюции минеральной части почвы, ее глин, органического вещества, органо-минеральных комплексов, ионных равновесий в почвенном растворе, влиянием растительности на биологический цикл элементов меняются во времени почвы холодного, умеренного и жаркого климата. Ученый предлагает убедительные схемы стадийного развития почв в условиях избытка воды, кальция, натрия, железа и других компонентов. (Менее подробные, но удобные и вполне обоснованные схемы строили и наши почвоведы, одну из них в 1911 году предложил П. С. Коссович, другую в 1927-м — С. А. Захаров.)

Нашли последователей среди почвоведов и идеи яркого американского геоботаника Ф. Клеменса, который в развитии растительности различал промежуточные ста-

дии (сукцессии) и заключительную устойчивую фазу (климакс).

В нашей стране горячо обсуждались взгляды В. Р. Вильямса о «едином почвообразовательном процессе». Все зональные типы почв ученый рассматривал в качестве стадий, этапов единого процесса.

В работах советских почвоведов в 30-е годы, в том числе Н. П. Ремезова, В. А. Ковды, С. В. Зонна, были описаны конкретные случаи эволюции почв в лесах, степях. В трудах нынешних почвоведов идеи эволюции почв нашли отражение в классификации почвенных типов, где учтены особенности современных почвенных процессов («почва-момент») и реликтовых свойств, оставшихся от прошлого («почва-память»).

Особое место в исследованиях по эволюции почв занимает небольшая книжка профессора А. А. Роде «Почвообразовательный процесс и эволюция почв», увидевшая свет в Москве в 1947 году. Алексей Андреевич здесь не только четко систематизировал все имевшиеся в науке на тот период данные об эволюции почв, но и определил ее движущие силы. Он выделил четыре фактора эволюции:

действие сил внешних по отношению к биогеоценозу;

воздействие соседних биогеоценозов;

саморазвитие почв из-за действия внутренних сил в биогеоценозе;

филогенез растений и других живых организмов, обладающих новыми геохимическими особенностями.

Последнее обстоятельство первым среди почвоведов отметил А. А. Роде. А ведь именно оно является главной движущей силой эволюции почв в масштабах геологической шкалы времени.

Авторы имели удовольствие не раз обсуждать с Алексеем Андреевичем вопросы эволюции почв во время экспедиций в черноземной зоне России, в Западном Казахстане. Этот удивительно обаятельный человек и энциклопедически образованный ученый прекрасно разбирался не только в вопросах почвоведения, но и в зарождавшейся в 50-е годы биогеоценологии.

Он неоднократно подчеркивал, что почвы по тем масштабам времени, которыми пользуются геологи, — эфемеры, образования с недолгой жизнью. До него такого четкого представления у почвоведов не было. В общих словах подобные идеи высказывались, но Роде конкретно

показал, в чем заключается движущая сила эволюции жизни для почвообразовательного процесса.

Растения, которые обеспечивают значительную часть биогенного круговорота на суше, избирательно накапливают отдельные элементы и соединения. Большинство современных растений создает круговорот веществ, в котором на первом месте стоят азот, фосфор, калий, кальций, магний и натрий, на втором — кремнезем, а на третьем—разные окислы, изредка хлор и сера. А вот древнейшие растения — хвощи и плауны резко отличаются по своему зольному питанию. Хвощи накапливают в первую очередь кремнезем, а плауны — глинозем. Нетрудно сделать вывод, что характер почвообразования под палеозойскими хвощовыми и плауновыми лесами был иным, нежели сейчас.

На это обстоятельство обращал внимание академик Л. С. Берг в работе о происхождении уральских бокситов. Он полагал, что глинозем избирательно накапливался растениями карбонового периода, но в почвоведении эта идея ранее не рассматривалась.

Заключая главу о факторах эволюции почвы, А. А. Роде писал: «...в трех из четырех намеченных нами возможных случаев эволюции движущей силой эволюции является растительность или — шире — живое вещество». Именно эволюция живого покрова — «биоты», как сейчас говорят, является постоянно действующим фактором активного изменения биогеоценоза, а с ним и почвы.

Есть даже смелые гипотезы, что жизнь возникла именно в грунте первичных материалов Земли, что древнейшие существа планеты — почвенные микробы, что именно они появились первыми в земном реголите — грунте, похожем на грунт Луны. Кстати, низшие растения действительно могут расти на грунте такого состава, это доказано экспериментально.

В едином многоплановом процессе почвообразования ученые часто выделяют отдельные элементы, из которых этот процесс складывается. Советские почвоведы предложили схемы классификации таких элементов, которые профессор А. А. Роде обозначал как микропроцессы почвообразования, а известный географ академик И. П. Герасимов называл элементарными процессами почвообразования.

А. А. Роде под микропроцессами подразумевал простейшие реакции и явления, на которые может быть разложен каждый из процессов образования почвы. Он под-

разделял их на три группы. Первая — обмен веществом и поступление энергии в почву и из нее, взаимодействия между почвой и другими природными телами. Вторая — химические и энергетические превращения в самой почве. Третья — процессы перемещения веществ и энергии в почве.

Самое интересное, что в основе множества мельчайших, элементарных процессов почвообразования лежит биохимическая деятельность микроорганизмов. А некоторые микропроцессы — чисто микробиологические, как превращения азота, например: аммонификация, нитрификация, денитрификация.

Поэтому ленинградский микробиолог профессор Т. В. Аристовская предложила выделять в почве элементарные почвенно-биологические процессы, те простейшие «кирпичики», которые строят сложный мир химических превращений почвы, особенно превращений органического вещества. Здесь нас интересует только один процесс — разложение минералов той горной породы, на которой образовалась почва.

Разложение микробами горных пород имеет огромное значение для биосферы. Не будь его, живые организмы очень быстро исчерпали бы ресурсы большинства биогенных элементов. Особенно важно это в условиях влажного климата, где дожди постоянно промывают почву и выносят все растворимые элементы минерального питания, которые не успели перехватить другие микроорганизмы или же корни растений.

Есть множество микробов (в их числе бактерии, водоросли, грибы, актиномицеты, дрожжи), способных разрушать минералы и извлекать нужные им элементы или химические соединения — кислород, азот, железо, серу, калий и др. Как же мельчайшим живым существам удается сокрушить горные породы?

Для этого у них есть целый арсенал могучего химического оружия: ферменты, слизи, кислоты. Ферменты — средство строго избирательного воздействия. Например, с помощью ферментов серобактерии окисляют содержащие серу минералы. Многие микробы, попав в анаэробные условия, то есть в условия, где нет кислорода, способны с помощью особых ферментов «отнимать» кислород у окислов железа. А содержащие железо минералы при этом разрушаются.

Не столь избирательное, но еще большее по масштабам действие оказывают на минералы различные сли-

зи, выделяемые микробами. Многие бактерии в почвах буквально погружены в слизь. Именно она составляет основную массу органических полимеров, особенно полисахаридов. Содержащиеся в слизи уроновые кислоты могут разрушать кристаллические решетки минералов, тем самым переводя в раствор, в усвояемое состояние нужные микробам вещества.

Микробы выделяют кислоты и в чистом виде, даже такие сильные, как азотная и серная. Иногда эти кислоты для микробов являются не оружием нападения на минералы, а просто экскретами, отбросами. Автотрофные микроорганизмы, в частности нитрификаторы и серобактерии, могут порой «захлебнуться» в выделяемых ими же самими кислотах.

Минералы легко растворяются многими кислотами, даже когда самим разрушителям это совершенно не нужно. Однако в биогеоценозе живут и другие существа, которые охотно поглощают минеральные соединения растворенных горных пород.

Но многие микробы, особенно гетеротрофные, разлагают минералы, например алюмосиликаты, целенаправленно. При этом используются чаще всего не минеральные, а органические кислоты: муравьиная, уксусная, масляная, лимонная, молочная, щавелевая, янтарная, винная, различные аминокислоты. Так поступают многие бактерии, но наиболее ярко выражена способность к кислотообразованию у микроскопических грибов. С помощью кислот микробы извлекают из минералов фосфор, многие металлы. В разложении горных пород достаточно велика и роль гумусовых кислот, фенольных соединений.

В процессе жизнедеятельности микробы выделяют и щелочи, особенно при разложении органики, аммонификации. Накоплению в почве щелочей способствует внесение навоза и других органических удобрений, если они содержат много азота. И вот уже щелочи растворяют кварц, труднорастворимые фосфаты, алюмосиликаты, нефелины.

Микробы выделяют и такие сильные химические реагенты, как водород, сероводород, метан, которые также разрушают минералы.

Все эти явления очень важны для почвообразования, для снабжения растений элементами минерального питания, для всей жизни биогеоценоза. Но совершенно очевидно, что эти же процессы еще важнее для эволюции почвы, для формирования почвенного слоя, накопления запа-

са биогенных элементов в живом веществе экосистемы при развитии почв на чистой скальной поверхности, песке или глине. Здесь свободно поселяются автотрофные микроорганизмы, лишайники (они тоже выделяют кислоты и могут растворять минералы), а все остальное — дело времени.

Обратите внимание: все процессы микробиального разложения горных пород могли идти на суше сотни миллионов лет назад, задолго до появления наземных растений и животных. Причем идти так же, как они идут и сейчас, обеспечиваемые теми же видами микробов. Есть и прямые доказательства исключительной древности микробов, которые способны разрушать камни. «Живые ископаемые», «колодец в прошлое» — каких только ярких эпитетов не использовали, чтобы подчеркнуть неизменность литотрофных («питающихся» камнем) микроорганизмов на протяжении последнего миллиарда лет истории Земли.

Однако микробы не только разрушают минералы, но и способствуют созданию многих новых, особенно содержащих кальций, фосфор, кремний, железо и алюминий.

Микробы, только они используют запасенную ранее энергию минеральных соединений. Еще в начале нашего века в экспериментах с микробами из кишечника дождевых червей было доказано разложение измельченных горных пород. Правда, микробы поглощают не все элементы, а преимущественно нужные им самим. Например, плесневые грибы в опытах за неделю извлекали из размельченного базальта 54 процента железа, 59 — магния, 11 — алюминия, немало кремния.

О том, что микробы могли жить на суше в протерозое, свидетельствуют и многие данные о физиологии этих организмов, их умении противостоять неблагоприятным физическим факторам среды, способности питаться самыми простыми веществами. Академик А. А. Имшенецкий доказал, что даже занесенные ветром на высоту 84 километра, в стратосферу и мезосферу, микробы сохраняют жизнеспособность. Есть микробы, которые обладают защитными пигментами: черными, зелеными, серыми, коричневыми. Такие формы не боятся высушивания, охлаждения до минус 196 градусов, больших доз ультрафиолетовой радиации.

А недавно микробиологи открыли новый мир среди бактерий — архебактерии. Они — продуценты метана, того самого газа, который мы сжигаем в газовых горелках

в кухонных плитах. Эти строго анаэробные бактерии встречаются на Земле повсюду, в том числе и в почвах. Они разлагают органические вещества без доступа кислорода. Поразителен набор веществ, которые они используют в пищу: водород, углекислота, соли уксусной кислоты, простейшие органические молекулы с одним атомом углерода. Что же могло препятствовать таким или им подобным микроорганизмам жить на суше в докембрии? Очевидно, таких препятствий не было.

Пока это только предположение — остатков докембрийских почв с микробами еще никто не находил. Но согласимся с известным специалистом по докембрию академиком Б. С. Соколовым, который писал, что, как бы ни относиться к такой гипотезе, за время, прошедшее после 1947 года, когда она впервые была высказана Л. С. Бергом, ее никто не смог опровергнуть.

Как видим, важнейшие химические процессы в почвах регулируются деятельностью живого вещества, особенно микробов и высших растений. Поэтому почвы столь же изменчивы, непостоянны по своим свойствам, как и жизнь организмов, которые их создали.

Следы из земных глубин

Наши знания о химизме биосферы, о тех условиях, в которых появилась жизнь и почвенный покров, покоятся на очень прочном научном фундаменте. Достаточно упомянуть классическую работу академика В. И. Вернадского «Химическое строение биосферы Земли и ее окружения», написанную в 30-е годы. Современная жизнь привнесла нечто совершенно новое в познание начальных этапов эволюции планет — прямые наблюдения в космосе. Космонавтика позволила «заглянуть» в такие процессы и обстановку ранних периодов жизни Солнечной системы, отстоящих от нас на 3—4,5 миллиарда лет.

Геохимики пришли к убеждению, что все планеты земного типа, а это Луна, Меркурий, Земля, Венера и Марс, имеют одинаковый состав. Разная масса этих планет определяет различия в степени сжатия вещества в их глубинах, а также то важнейшее для жизни обстоятельство, будет ли у планеты атмосфера и какого именно состава.

Химический и минералогический состав поверхности довольно сходен. Вся поверхность Луны сложена магматическими силикатными породами, содержащими много

кремния, а также продуктами их разрушения. Здесь присутствуют известные и на Земле минералы: ортоклаз, плагиоклаз, диопсид, оливин, ильменит, апатит и другие. Слоем раздробленных силикатных пород сложена поверхность Марса, а поверхность Венеры — базальтами и гранодиоритами.

Одинаковы всюду и доминирующие химические элементы. Тщательно изучен состав метеоритов — пришельцев к нам из глубин Солнечной системы. Они бывают разные по своему составу: железные, каменные и другие, но особенно интересуют ученых так называемые углистые хондриты — метеориты из темного, похожего на уголь вещества, которое содержит много органических соединений. Около 40 таких метеоритов найдено в Антарктике, в других районах Земли их разыскать труднее: кто обратит внимание на темный тусклый камешек? А среди вечных льдов он сразу бросается в глаза.

Так вот, в углистых хондритах много сложных органических соединений, в том числе и аминокислоты. Определение абсолютного возраста метеоритов показывает, что в Солнечной системе сложные органические соединения были уже по меньшей мере за миллиард лет до возникновения жизни на Земле: ведь большинство метеоритов — остатки того вещества, из которого сложены планеты. Вполне логично предположить, что эти первичные органические вещества могли послужить основой для развития жизни. Физики остроумно отметили, что окружающее нас вещество похоже на золу космического пожара, в котором оно было создано.

Мы уже говорили, что толщи первичных грунтов на древних материках издревле должны были быть заселены микробами. Но на саму «дневную» поверхность Земли организмы — а это были зеленые растения — взошли далеко не сразу.

Многие геохимики считают, что свободный кислород в очень малом количестве существовал и 4,5 миллиарда лет назад. Он — результат разложения молекул воды солнечным излучением. Но чтобы достичь уровня Пастера (0,01 процента от современной) — той концентрации, при которой дыхание микробам в 30—50 раз энергетически выгоднее брожения, микроорганизмам потребовалось 2,5 миллиарда лет «работы».

Уровень Пастера был преодолен только в позднем протерозое, не ранее одного миллиарда лет назад. Только тогда зеленые растения, еще без корней и листьев,

ближайшие потомки водорослей, стали заселять сушу по побережьям океанов. Это имело колоссальные последствия для всей биосферы: масса живого вещества после заселения суши увеличилась в 800 раз, возникли почвы, образовался гигантский по разнообразию мир почвенных организмов.

Полагают, что первое время жизни на суше мешало жесткое ультрафиолетовое излучение Солнца и обитали здесь лишь низкорослые псилофиты и мелкие почвенные беспозвоночные. Но около 400 миллионов лет назад, когда количество кислорода в атмосфере достигло около 10 процентов современного, образовался и озоновый экран в атмосфере. К этому времени приурочено появление уже целых лесов из псилофитов, а также выход на сушу первых позвоночных животных.

Завоевание континентов растениями и животными вызвало образование континентальных отложений. Здесь самое значительное — появление органических отложений: угольных и торфяных толщ. В девоне возникли первые угольные месторождения, а следующий геологический период даже получил название «карбон» — так много в нем угольных отложений («карбон» по-латыни и есть «уголь»).

Нет нужды говорить, что сейчас такого не увидишь: вся мертвая органика в лесах, степях, пустынях, в мангровых зарослях по берегам морей быстро перерабатывается животными-сапрофагами и микроорганизмами. Биологи не раз высказывали предположение, что угли могли раньше образовываться только потому, что, когда растения на суше уже были и отмершие их остатки на землю падали, почвенных животных и микробов, способных питаться этой органикой, еще не существовало. Или, может быть, их было еще слишком мало?

Как и когда появились на суше животные?

На этот вопрос современная палеонтология дает довольно точный ответ. Бесспорно, предки наземных животных — сначала это были беспозвоночные — обитали в морях. Первые беспозвоночные, которые могли дышать атмосферным воздухом, появились в кембрии. Правда, известны они только из морских отложений. Но ведь и так бывает: ветром или водой наземные животные или растения сносятся в воду, в моря или озера, а там они попадают в осадки.

В ордовике отдельные участки суши были уже плотно

заселены низшими растениями: грибами, одноклеточными водорослями, не говоря уже о бактериях. А о беспозвоночных, которые могли ими питаться, мы знаем очень мало. Никогда нельзя с уверенностью сказать, были ли это настоящие наземные жители или же обитатели мелководных водоемов, которые лишь изредка выползали на берег.

По всей видимости, почвенная фауна материков стала формироваться в следующем периоде палеозоя — силуре, одновременно с заселением суши высшими растениями. А уже в девоне мы знаем множество чисто наземных, подстилочных и почвенных обитателей. Особенно многочисленны были микроартроподы — бескрылые насекомые, паукообразные, древнейшие многоножки. Удивительными существами той поры были многоножки-артоплевры. Их длина достигала полутора метров при толщине 10—12 сантиметров.

В карбоне на суше жили представители не менее 13 отрядов паукообразных и 12 отрядов настоящих насекомых, которые именно в это время научились летать. Как видим, к карбону суша уже давно и основательно была заселена растениями и беспозвоночными животными. Вероятно, именно обилие напочвенных беспозвоночных побудило стремиться к выходу на сушу позвоночных животных. Здесь для них уже было достаточно пищи, а врагов — никаких.

В конце девона — начале карбона первые земноводные, а именно стегоцефалы (панцирные земноводные), вышли на сушу. Здесь произошло то же явление в экологии, что ранее случалось в эволюции микроорганизмов: новые группы организмов, вселяясь в уже освоенную их предшественниками среду, не уничтожали ранее существовавшие здесь экосистемы, а только перестраивали их, удлиняя и усложняя пищевые цепи. Так произошло и с почвенной фауной: мир почвенных беспозвоночных остался неизменным и продолжал развиваться по своим законам.

В карбоне произошла и первая в наземной фауне «экологическая катастрофа»: вымерла половина отрядов наземных паукообразных, а остальные измельчали. Они не смогли конкурировать с первыми наземными позвоночными, хотя те бывали иногда размером с небольшую ящерицу. Часть паукообразных, а они до тех пор были самыми крупными и сильными хищниками на суше, пала в битве с земноводными, а остальные поспешили скрыть-

ся в такие экологические ниши, куда позвоночные проникнуть не смогли.

От этого удара мир паукообразных уже не оправился: сотни миллионов лет шло бурное развитие жизни на суше, а разнообразие отрядов наземных паукообразных так и не достигло уровня начала карбона. Сейчас их 13 отрядов против 15 в карбоне.

К сожалению, очень многие почвенные беспозвоночные не имеют скелета, их остатки не сохранились в геологической летописи. Таковы столь обильные и разнообразные черви. Панцирные клещи оказались в этом отношении удачливее — их панцири мы изучаем в континентальных отложениях разного возраста. Самая древняя находка недавно сделана в США: в отложениях девонского времени обнаружили примитивнейших панцирных клещей. Панцирные клещи вполне современного облика открыл в юрских отложениях в СССР палеоботаник В. А. Красилов, а несколько позже они были найдены в южной Швеции.

Поразительно, что среди 6 известных к настоящему времени родов орибатид юры 2 — современные, успешно «проживающие» и поныне. А ведь прошло 140 миллионов лет. Такие организмы, почти не меняющиеся с течением времени, выдающийся сподвижник Ч. Дарвина Т. Гексли назвал персистентами. Почему же сохранились в почвах такие «живые ископаемые»? Вероятнее всего, из-за устойчивости, стабильности самой почвенной среды и экосистем в ней.

Труднее судить об эволюции отношений между растениями, животными, микроорганизмами и минеральной частью почвы в прошлом. Но что эти отношения изменялись — несомненно. Высшие сосудистые растения, которые начали в силуре наступать на континенты, были потомками морских водорослей и очень сильно отличались от современных. Потребовалось много времени, чтобы у растений появился слой коры, защищавший их от высыхания, прочные опорные ткани стебля для противодействия ветрам и силе тяжести. В водной среде таких забот растения не знают. Потребовались корни, чтобы доставать из почвы воду и минеральные соли, система каналов, сосудов для доставки питательных веществ всем органам и тканям. Ничего подобного у предков наземных растений, к которым относятся столь привычные нам деревья, кустарники или травы, ранее не было.

Не было корней — не было и корневых выделений,

не могло быть и микоризы, и клубеньковых бактерий на корнях, и огромной массы микробов, которые питаются органическими веществами, выделяемыми корнями растений. Не было и самой ризосферы. Условием успешной эволюции высших растений была плодородная почва, а в ее образовании участвовали множество почвенных микробов, синезеленых водорослей, грибов, лишайников, беспозвоночных.

Наземные растения, отмирая, оставляли на поверхности почвы скопища стеблей, состоящих из клетчатки и лигнина. Древнейшие сосудистые растения — псилофиты, которые процветали на суше с силура по конец девона, положили не только конец безраздельному господству водорослей на нашей планете. Они открыли эру отложения совершенно иного по своему химическому составу растительного материала.

Похоже, что тогда ни микробы, ни животные переваривать клетчатку не очень-то умели. В начале девона на суше возникли и другие сосудистые растения — плауны, хвощи, папоротники, мхи. Из их остатков в конце девона образовались первые мощные залежи торфа, который постепенно превратился в каменный уголь. Это тоже символизировало начало нового важного этапа в эволюции геохимического состава биосферы: массовое образование целлюлозы и лигнина, сложных органических молекул, нерастворимых, с трудом разлагаемых и абиотическими и биологическими факторами.

Низшие, древнейшие почвенные животные питались и питаются главным образом грибами и водорослями, а целлюлозу могут разлагать в своих кишечниках только с помощью микроорганизмов. Так же поступают и термиты, для которых целлюлоза служит основной пищей, а вернее, пищей для содержащихся в их кишечниках микробов. Такие трофические цепи, экологические отношения сохранялись на суше многие миллионы лет.

Химия и жизнь почвы



Среди многих ярких достижений наук XX века достойны быть отмеченными успехи биогеохимии, которая изучает роль живых организмов в химическом преобразовании поверхности Земли, ее вод и атмосферы. Рождение этой науки связано с именем В. И. Вернадского, который пришел к своим фундаментальным обобщениям в значительной мере благодаря изучению химии почвенных процессов, прекрасно зная не только геохимию, но и агрохимию своего времени.

Немаловажно и то, что его учитель В. В. Докучаев, прежде чем стать великим почвоведом, был магистром геологии и минералогии Санкт-Петербургского университета, прекрасно знал агрохимию. Докучаевское определение почвы как естественного тела, образовавшегося под воздействием климата и живых организмов на геологической породе, стало началом не только науки о почвах. Установленная Докучаевым связь между живыми и неживыми компонентами природы имела большое значение для развития таких научных дисциплин, как ландшафтоведение, биогеоценология, экология, биогеохимия.

Краеугольное понятие всех перечисленных наук — представление о биосфере. Ее определение было дано академиком В. И. Вернадским: биосфера — это часть литосферы, гидросферы и атмосферы, где распространена жизнь, где существует живое вещество, где химические свойства среды определяются действием живых организмов.

Наука, изучающая химизм природных процессов, законы миграции, концентрации и рассеяния атомов химических элементов на Земле, могла появиться только после открытия Д. И. Менделеевым периодического закона и создания Н. Бором теории строения атомов. «Геохимия — наука XX века» — так начал свои лекции в Сорбонне 60 лет назад В. И. Вернадский.

Как всякая точная наука, геохимия начинает с измерения. Прежде всего она определяет содержание химических элементов в земных породах и минералах, природных водах и живых организмах. Только совершенная аналитическая техника смогла обеспечить необходимую точность этих измерений, доверие к результатам наблюдений.

«...Земная газовая оболочка, наш воздух есть создание жизни» — эти слова принадлежат В. И. Вернадскому.

В них ответ на вопрос о роли ландшафта в формировании современной атмосферы Земли. Важнейшая ее часть — свободный кислород — образуется в результате фотосинтеза, который непрерывно протекает на суше и в поверхностных горизонтах моря вот уже свыше миллиарда лет. Фотосинтез — единственный распространенный на Земле процесс, который высвобождает из различных соединений кислород. Во всех остальных реакциях — дыхание организмов, окисление железных, серных, марганцевых и других минералов — происходит преимущественно связывание свободного кислорода.

Вместе с тем при фотосинтезе зеленые растения не только выделяют кислород, но и поглощают из воздуха углекислый газ (CO_2). За период геологической истории растительность Земли практически очистила атмосферу от углекислого газа, содержание которого сейчас составляет лишь 0,03 процента. Углерод же, который был в составе углекислого газа воздуха, частично снова возвращается в атмосферу в результате дыхания, горения и других процессов, а частично входит в состав гумуса, торфов, известковых раковин животных. В дальнейшем из этих остатков образуются каменные и бурые угли, нефть, многие известняки.

Развитие жизни на Земле и биологический круговорот — взаимосвязанные и взаимообусловленные явления.

Биологический синтез органических соединений и их последующее разложение, перевод в минеральную форму составляют сущность и жизненных процессов, и биологического круговорота. В процессе разложения органические вещества проходят длинную цепочку превращений, связанных с жизнедеятельностью гетеротрофных организмов, то есть организмов, которые могут жить и развиваться только за счет готовых органических веществ.

В. Р. Вильямс в своих работах, исходя из ограниченности запасов необходимых растениям «биогенных» элементов, неоднократно подчеркивал, что если 75 процентов общего количества ежегодно синтезируемого растениями органического вещества не будет минерализовано гетеротрофами, то через три-четыре года жизнь на Земле должна прекратиться.

Живые существа регулируют круговорот немногих химических элементов: кислорода, азота, в меньшей степени фосфора, серы, углерода и микроэлементов. Для других элементов гораздо бо́льшую роль играют физические фак-

торы: перемещение горных пород, вода, ветер (геологический круговорот веществ).

Важнейшая составная часть воздуха, молекулярный азот, как предполагал В. И. Вернадский, — результат деятельности микроорганизмов.

Газообразный химический элемент, из которого на 78 процентов состоит наша атмосфера, назван азотом, что значит нежизненный. В истории химии вряд ли отыщется другой случай, когда название было бы столь неудачным. Основа любого организма — белок, а в нем содержится 15—17,5 процента азота. Удобрения для полей тоже в значительной степени азот. И не случайно его теперь именуют элементом плодородия.

Биогенного происхождения и подавляющая часть углекислоты в атмосфере. Поступающий в атмосферу углекислый газ образуется при дыхании организмов, главным образом корней растений и бактерий. Это неудивительно, так как бактерии (в пересчете на живой вес) дышат в двести раз интенсивнее человека, а их масса на каждом гектаре измеряется тоннами.

Что касается круговорота воды, то масштабы этого процесса поистине грандиозны: в него ежегодно вовлекается более 1 миллиона (1040 тысяч) кубических километров воды. Только на территории СССР в виде дождя и снега выпадает около 8,5 тысячи кубических километров воды, реки же сбрасывают примерно половину этого количества.

Но влагооборот не только движение воды. В этот мощный геохимический поток вовлекаются огромные массы различных химических элементов. Например, с территории СССР воды выносят 40 миллионов тонн кальция в год.

Помимо растворенных химических элементов, воды переносят огромные массы мелких частиц во взвешенном состоянии. Можно подсчитать, какое количество химических элементов ежегодно мигрирует с единицы площади. Оказывается, что в различных районах Русской равнины с одного гектара выносится от 0,2 до 2 центнеров твердых частиц и от 1 до 4 центнеров химических элементов в растворенном состоянии.

Вынос химических элементов с суши частично компенсируется обменом веществ между литосферой и атмосферой. На поверхность всей земной суши с атмосферными осадками ежегодно выпадает 1800 миллионов тонн солей. Установлено, что на каждый гектар европейской части

СССР в год из атмосферы поступает от 3 до 33 килограммов кальция, от 5 до 12 килограммов серы, 5—10 килограммов хлора.

Через атмосферу переносятся и огромные массы твердых частиц. Известен случай, когда пылевые бури за несколько дней только на юге Украины вынесли около 25 кубических километров почвы.

Наряду с обменом веществ в системе литосфера — гидросфера — атмосфера существует «биогенный» круговорот — перераспределение химических элементов, вызываемое деятельностью живых организмов. Живые существа захватывают огромные массы химических элементов и вовлекают их в сложную миграцию. Особенно велика здесь роль растений и микроорганизмов.

В обмене веществ между живой и неживой природой наиболее важно перераспределение газов. Растения, синтезируя органическое вещество, поглощают из атмосферы углекислый газ и выделяют кислород. Связывание в органическом веществе 1 грамма углерода сопровождается выделением 2,7 грамма кислорода. В СССР с каждого гектара луговой степи за год в атмосферу выделяется 10—12 тысяч кубических метров этого газа.

Кислородный характер воздуха, которым мы дышим, — важнейшая химическая особенность нынешней атмосферы Земли. А ведь в течение очень длительного периода эволюции нашей планеты этого свойства она была лишена. Считают, что жизнь на суше стала возможна именно тогда, когда в земной атмосфере образовалось значительное количество свободного кислорода и создались условия для формирования в атмосфере озонного слоя, предохраняющего наземную жизнь от губительного действия ультрафиолетовых лучей. Это произошло лишь в последние 400 миллионов лет (напомним, что история Земли насчитывает 4,5 миллиарда лет), хотя в океане жизнь возникла уже 3 миллиарда лет назад.

Правда, такое мнение отнюдь не бесспорно, поскольку первыми поселенцами суши могли быть микробы, которые обходятся и без свободного кислорода и легко переносят большие дозы ультрафиолета, да и хорошо защищены от него в толще почвы. Недаром академик Л. С. Берг озаглавил одну из своих статей сорокалетней давности так: «Жизнь и почвообразование на докембрийских материках».

Есть все основания полагать, что образование почв происходило задолго до появления наземной растительно-

сти (в девонское время) и что биогенный круговорот веществ на материках, отнюдь не безжизненных, многие сотни миллионов лет поддерживался одними микробами. Перехватывая различные соединения своими корнями, растения частично задерживают вынос веществ из почвы. Поэтому так называемые биогенные элементы, необходимые для жизни растений, — фосфор, азот, калий, магний и другие — накапливаются, концентрируются в гумусовых горизонтах почв.

Необходимость регулирования круговорота таких элементов, как азот, фосфор, калий, давно уже признана земледелием. Впервые баланс азота в земледелии исследовал французский физиолог растений и агрохимик Ж.-Б. Буссенго, учеником которого с гордостью называл себя основоположник отечественной физиологии растений К. А. Тимирязев. Опыты Буссенго по обогащению почвы азотом при выращивании клевера и люцерны стали классическими, это и дало повод ученику Тимирязева академику Д. Н. Прянишникову считать, что агрохимия возникла в 1836 году — в год опубликования работ Буссенго.

Главная задача агрохимии, по определению Прянишникова, изучение круговорота веществ в земледелии и выявление тех мер воздействия на этот круговорот, которые могут повысить урожай или улучшить его качество. В сельском хозяйстве без удобрений не обойтись: с каждой тонной урожая пшеницы с поля выносится 37 килограммов азота, 13 — фосфора, 23 — калия. Для картофеля на тонну урожая вынос значительно меньше: 6 килограммов азота, 2 — фосфора, 8 — калия, а вот конопля — один из рекордсменов, она выносит с поля на одну тонну полученного волокна 200 килограммов азота, 62— фосфора и 100 — калия.

Углерод растение получает с углекислотой из воздуха, а минеральные элементы ему должна дать почва. При этом в почве многие из них находятся в виде связанных с гумусом соединений. Например, 95—98 процентов азота содержится в почве в виде органического вещества и только 2—3 процента — в минеральных соединениях, непосредственно доступных растениям. Многие микроэлементы в больших количествах содержатся в живой биомассе растений, животных, микроорганизмов и, пока не погибнут их живые «носители», недоступны для других организмов.

Велико значение почвы и как своеобразного геохими-

ческого экрана. Это особенно актуально в связи с загрязнением ландшафтов тяжелыми металлами, такими, как свинец, ртуть, кадмий. Сейчас встает задача обеспечить замкнутый круговорот воды и многих других веществ, создать искусственные среды, из которых в окружающее пространство токсичные компоненты практически не выносились бы. И конечно, абсолютно недопустимо, чтобы те или иные государства использовали для захоронения вредных отходов территории слаборазвитых стран, где «мало отходов и много окружающей среды». Так геохимия соприкасается с социальными и политическими проблемами современности.

Живое вещество

Само понятие «живое вещество», весь комплекс представлений о его геохимической деятельности введены в науку В. И. Вернадским. Гениальная его работа «Биосфера» известна достаточно широко, но не все знают, что к созданию учения о биосфере и ноосфере, многих принципиально новых направлений в науке Вернадский пришел через почвоведение.

На Украине он начинал свой путь под руководством В. В. Докучаева с оценки черноземов Полтавщины и Приднепровья. На протяжении всей своей долгой творческой жизни ученый сохранил глубокий интерес к почвоведению, к практике сельского хозяйства. Значительная часть громадного научного наследия Вернадского непосредственно связана с разработкой фундаментальных проблем почвоведения.

Его интересовала роль живого вещества в создании почвы, биогеохимическая роль алюминия и кремния в почвах, значение почвенной атмосферы и ее биогенной структуры, роль почвенных растворов в биосфере, биогеохимический круговорот, распространение радиоактивных элементов и их накопление живыми организмами.

Учениками Вернадского были ученые, работы которых определили лицо и проблематику геохимии: академики А. Е. Ферсман, В. Г. Хлопин, Д. И. Щербаков, А. А. Полканов, А. П. Виноградов, А. А. Твалчрелидзе, члены-корреспонденты Академии наук СССР А. А. Сауков, К. А. Власов, К. А. Ненадкевич.

В 1919 году Вернадский организовал Украинскую академию наук и стал ее первым президентом. Судьба,

однако, распорядилась так, что многие фундаментальные работы Вернадского о деятельности живого вещества в биосфере стали известны широкому читателю несколько десятилетий спустя после смерти их автора, в том числе написанная в начале 20-х годов и опубликованная в 1978 году книга «Живое вещество». А в 1984 году январский номер журнала «Наука и жизнь» украсила впервые увидевшая свет работа Владимира Ивановича «Об участии живого вещества в создании почв», которая 65 лет лежала в архивах. Что же именовал ученый живым веществом?

«Под именем живого вещества, — писал В. И. Вернадский в 1919 году, — я буду подразумевать всю совокупность всех организмов, растительности и животных, в том числе и человека. С геохимической точки зрения эта совокупность организмов имеет значение только той массой вещества, которая ее составляет, ее химическим составом и связанной с ней энергией. Очевидно, только с этой точки зрения имеет значение живое вещество и для почвы, так как, поскольку мы имеем дело с химией почв, мы имеем дело с частным проявлением общих геохимических процессов... Живое вещество, вошедшее в состав почвы, обусловливает в ней самые разнообразные изменения ее свойств, обычно не учитываемые в почвоведении. На первом месте я остановлюсь здесь на его влиянии на мелкоземлистость почвы, ибо это свойство почвы является самым основным и резким ее отличием от всех других продуктов земной поверхности. Оно же определяет ход всех химических реакций в почве и делает из почвы активнейшую область с химической точки зрения в биосфере».

Тогда же ученый впервые высказал мысль об органогенном парагенезисе как факторе геохимических преобразований — совместном нахождении химических элементов в живом веществе, которое определяется биологическими свойствами организмов, а не химическими свойствами элементов. К основным элементам органогенного парагенезиса Вернадский относил C, O, H, N, S, P, Cl, K, Mg, Ca, Na, Fe, к которым обычно присоединяют еще Si, Mn, F, J, Co, B, Ba, Sr, Pb, Zn, Ag, Br, V и т. д. В живом организме всегда содержится не менее 20—25 химических элементов, эти элементы оказываются вместе после гибели живого в исключительно малых объемах, высоких концентрациях и в соотношениях, которые определяют жизнь.

Вернадский здесь высказался с присущей гению ясно-

стью: «...в почве нет химических процессов вне участия в них живой материи и продуктов ее изменения».

Но измерять количество живого вещества в почвах и на планете в целом биологи и почвоведы научились не сразу, даже когда поняли, что делать это необходимо. Еще медленнее шло познание химического состава растений, животных, микробов, тех химических реакций, которые благодаря им осуществляются в почве.

Еще Вернадский отмечал, что масса растений в 10—100 тысяч раз превышает массу животных, и ему было хорошо известно о почвообразующей деятельности дождевых червей и грызунов, термитов и муравьев, о биохимических процессах в почвах, вызываемых микробами. Но точную количественную меру всем этим явлениям биологи нашли только в наши дни.

Многие поколения ученых интересовались жизнью корневых систем растений, почвенных животных и микроорганизмов. Они вели наблюдения, собирали и классифицировали материал. Постепенно вырабатывались и точные количественные методы учета. А подвела итоги всей этой работы Международная биологическая программа — МБП.

В 60-х годах нашего века началось планомерное изучение всей биосферы, в том числе и наземных биогеоценозов. Исследовали состав растительного покрова, его массу, ее ежегодный прирост, отмирание и разложение растительных остатков. Учитывали количество разных химических элементов, поступающих в растения и возвращающихся в почву с опадом. Определяли, какую часть биомассы составляют корни, листья, стебли. Исследования по международной программе резко изменили оценку роли животных и микроорганизмов в биологическом круговороте и почвообразовании.

Международная биологическая программа предусматривала «глобальное комплексное изучение биологических основ продуктивности и благосостояния человека» и первоначально была рассчитана на восемь лет. В ней участвовали 58 стран, и еще в 33 странах разрабатывались отдельные пункты программы. Основные исследования велись самостоятельно каждой страной на строго добровольных началах, за счет национальных средств.

Об окончательных научных итогах говорить пока рано, но некоторые выводы сделать все же можно. Вероятно, главный из них в том, что первый опыт международного сотрудничества в области биологии показал плодотворность разработки на международной основе тех ее ка-

питальных проблем, которые трудно решить в национальных границах. МБП активизировала изучение продуктивности биосферы, что имеет очень большое значение.

Собранные в разных ландшафтно-климатических зонах земного шара сведения помогут провести другую международную программу — «Человек и биосфера», которая в известной мере явится продолжением МБП.

МБП убедительно доказала опасность неблагоприятных изменений природной среды, особенно загрязнения в результате деятельности человека. И в рамках МБП возникла идея создания глобальной биологической службы, без которой невозможно определить тенденции таких изменений.

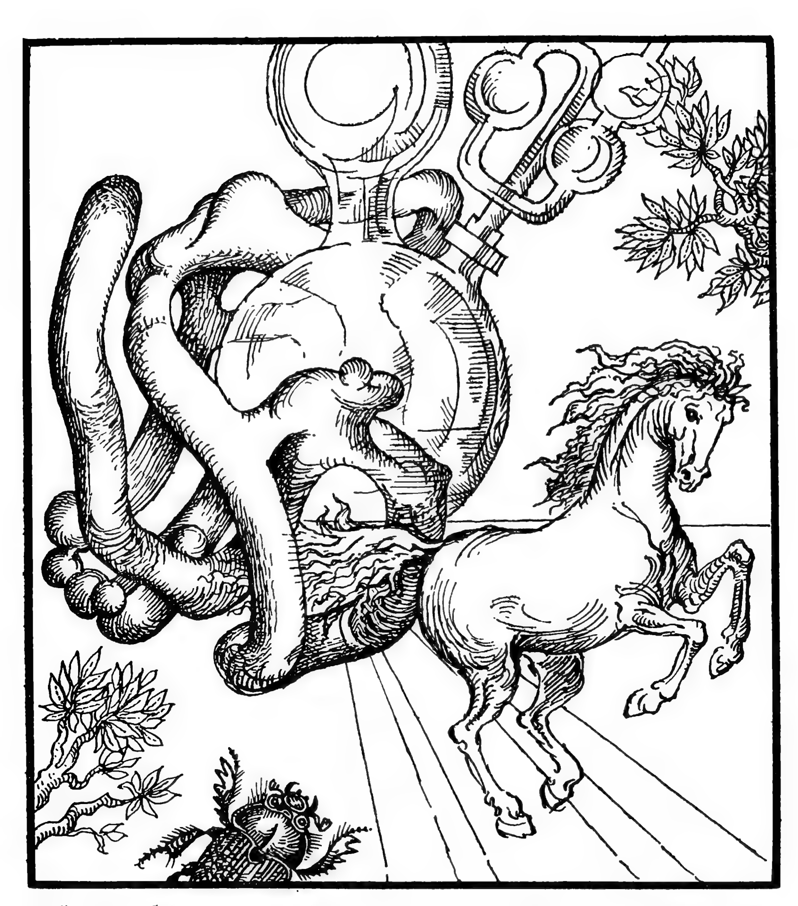
Так сколько же биомассы вокруг нас? В умеренной полосе СССР в лесах основная биомасса сосредоточена в древесине, ее — от 100 до 400 тонн на гектар. Эта биомасса многолетняя, в почву ежегодно поступает только 3,5—9 тонн опада листвы и сучьев. Масса корней составляет одну четверть от надземной части деревьев, но ежегодно и они дают 3—5 тонн сухого вещества за счет ежегодно отмирающих мелких корневых волосков.

В травянистых сообществах ежегодно отмирает большая часть как наземной, так и корневой биомассы, в степях и на лугах эта величина может быть очень значительной; так, опад в луговых степях только наземной части растений равен 11 тоннам на гектар.

Урожай с полей собирает человек, поэтому в биологический круговорот включаются только остатки жнивья и отмирающие корни. В дерново-подзолистых почвах, на суглинках, на полях однолетних культур остается 0,3—1,9 тонны таких остатков и 1,3—5 тонн корней (сухого вещества) на гектар.

Труднее определить биомассу микробов. Она зависит от продуктивности наземной растительности, содержания гумуса и азота почвы, продолжительности теплого времени года, когда микробы могут активно функционировать. В тундрах, например, активное время жизни микробов ограничено 1—2 месяцами, а на юге они способны развиваться, если хватает влаги, круглогодично. По данным ленинградского профессора Т. В. Аристовской, в разных типах почв бактерии дают 3—15 генераций в месяц, но в среднем за год это составит, по-видимому, 10—15 генераций, учитывая разную продолжительность активной жизнедеятельности микробов.

По данным известного исследователя Э. Рассела, жи-



вой вес бактериальных клеток в пахотных почвах южной Англии составляет 2—4 тонны на гектар. При этом на долю бактерий приходится 0,5—1 процент от веса органического вещества почвы; биомасса грибов примерно такая же. По другим подсчетам, в пахотных почвах обитает около 20 тонн живых микробов на гектар. Академик Е. Н. Мишустин для разных типов почв дает цифру от 0,6 до 5 тонн сырого веса (0,1—1,3 тонны сухого веса). Для водорослей Э. А. Штина определила биомассу порядка 60—500 килограммов сухого веса в почвах под естественной растительностью, в исключительных случаях — до 1400 килограммов на гектар, при четырех генерациях в год в условиях средней полосы СССР. Велика биомасса почвенных водорослей в агроценозах — порядка 0,2—2,2 тонны на гектар.

Таким образом, общая продукция микрофлоры в почвах средней полосы европейской части СССР может быть оценена в 2—3 тонны сухого вещества на гектар в год. На долю почвенных животных приходится 15—20 процентов от веса всех живых существ почвы, то есть около 1—1,5 тонны сухого вещества.

Биомасса млекопитающих в тайге — 141 килограмм на квадратный километр, в смешанных лесах — 511, лесостепи — 1230, степи — около 600. Птиц меньше: в тайге их около 80 килограммов, в смешанных лесах — 40. лесостепи — 60, степи — около 13 килограммов на квадратный километр. Величины эти очень малы, если иметь в виду, что речь идет о «живой», а не о «сухой» биомассе, и притом на квадратный километр, а не на гектар.

В некоторых зарубежных странах биомассу животных в естественных ландшафтах удалось определить достаточно полно благодаря наблюдениям, которые велись десятилетиями. К таким районам в первую очередь относятся леса северо-западной Европы на бурых лесных почвах. Так, в Бельгии на гектар лесной растительности приходится 4 тонны листвы, 270 тонн ветвей и стволов, 1 тонна травы, ежегодная первичная продукция составляет 12 тонн, из них 52 процента составляют древесные растения и 8 процентов травы.

Потребителями этой первичной продукции являются (в живом весе) крупные млекопитающие (косули, кабаны — 2 килограмма на гектар), мелкие млекопитающие (грызуны, хищные, насекомоядные) — 5 килограммов, около 1,3 килограмма — птицы и около 1000 килограммов — почвенные беспозвоночные. Суммарная сухая масса всех животных составляет не более 100 килограммов на гектар.

Какие же изменения в сообществах живых организмов на суше происходят под влиянием хозяйственной деятельности человека?

Расхожее мнение, будто человек лишь губит живой покров Земли, разрушая его, не соответствует истине. Научно обоснованная, продуманная деятельность человека отнюдь не ведет к обеднению биосферы. По важнейшим биологическим показателям — продуктивности, количеству белка, генетическому разнообразию экосистем — агросистемы и другие культурные ландшафты не только не уступают естественным, но часто и превосходят их.

И это вполне понятно: человек резко интенсифицирует протекание биологических процессов в биосфере, внося

в почву минеральные удобрения, повышая продуктивность засушливых или переувлажненных бесплодных земель, выводя все более продуктивные породы растений, животных, а в последнее время — и микроорганизмов. Правда, структура естественных сообществ нередко упрощается в агросистемах, но надо учитывать, что созданные человеком экосистемы несравнимо лабильнее. Это и дает основание экологам быть оптимистами, думая о будущем нашей планеты.

Судьбы элементов-биогенов

По сравнению с составом земной коры биомасса растений гораздо богаче азотом, углеродом, водородом и кислородом, а биомасса животных, кроме того, еще серой и фосфором. Все это — биогенные элементы, жизнь без них попросту невозможна. Больше всего в живом веществе, не считая воды, углерода, азота, кальция, калия, кремния, фосфора, серы, стронция, бора, цинка, молибдена, меди, никеля. Именно эти элементы — главные в биогенном круговороте веществ (если, конечно, не забывать, что $^2/_3$ любого живого вещества составляет вода). Общая продолжительность биогенного круговорота на суше в целом, по мнению В. А. Ковды, около 300—400 лет. Правда, цифра эта относится в основном к лесам, а в агроценозах круговороты биогенных элементов идут во много раз быстрее.

Всего в тканях живых организмов встречается 66 — 68 элементов, причем 47 из них постоянно. Жизненно необходимыми, как это твердо установлено, являются многие микроэлементы, в том числе медь, кобальт, цинк, бор, йод, молибден, железо, фтор и др. Можно выделить три группы элементов:

1) те, что постоянно содержатся в тканях и незаменимы в пище (O, C, H, N, Ca, P, K, S, Cl, Na, Mg, Zn, Fe, Cu, I, Mn, V, Mo, Co, Se);

2) те, что постоянно встречаются в живом организме, но физиологическая роль их изучена плохо и неизвестно, оказывает ли отрицательное влияние их отсутствие (Sr, Cd, Br, F, B, Si, Cr, Be, Ni, Li, Cs, Sn, Al, Ba, Rb, Ti, Ag, Ga, Ge, As, Hg, Pb, Bi, Sb, U, Th, Ra);

3) те, что иногда обнаруживают в тканях, но их количество и физиологическая роль неясны (Sc, Tl, Nb, J, La, Pr, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Er, Ib, W, Re, Au).

Основную массу нашего тела, так же как растений и

микроорганизмов, составляют так называемые макроэлементы — углерод, водород, азот, кальций и т. д. Микроэлементы дают в сумме всего лишь 0,04—0,06 процента веса тела. Но без них невозможны нормальный рост и развитие организма.

Казалось бы, какое значение может иметь крупица меди? Ее всего-то в организме около 100 миллиграммов. Но если не хватает даже $^1/_3$ этой «крупицы», в крови снижается уровень адреналина, замедляется биосинтез гемоглобина, процессы кроветворения нарушаются. Самым отрицательным образом сказывается недостаток меди на тканевом дыхании, обменных процессах. Вот почему медь относится к группе незаменимых микроэлементов. В эту же группу входят цинк, марганец, кобальт и некоторые другие элементы. Все они обеспечивают высокую химическую и биологическую активность окислительно-восстановительных биосинтетических процессов.

При этом каждый элемент выполняет свою функцию. Цинк, например, участвует в синтезе ряда ферментов, а также инсулина и полового гормона. Главная роль марганца — активизация окислительно-восстановительных процессов, но он также благотворно действует на рост и половое развитие, участвует в регуляции уровня артериального давления. Без кобальта невозможно образование витамина B_{12}.

Совершенно особое место занимает железо. По количественному содержанию — в органах и тканях взрослого человека около четырех граммов железа — его относят к макроэлементам, а по участию в биохимических процессах — к микроэлементам. Значение железа трудно переоценить. 70 процентов этого элемента содержится в гемоглобине. Железо — важная составная часть ферментов крови, а также дыхательного пигмента мышц — миоглобина.

До сих пор речь шла о незаменимых микроэлементах. Но в организме имеются еще и такие элементы, которые физиологически неактивны и токсичны. Их роль недостаточно изучена.

Неоднократно пытались выяснить, есть ли какая-то закономерность распределения биологически важных химических элементов в таблице Д. И. Менделеева. По мнению академика А. П. Виноградова, существует один закон для распространения химических элементов в литосфере и в живом веществе: состав организмов отражает химический состав окружающей среды. Виноградов установил также, что количество тех или иных химических

элементов в живом веществе находится в обратной зависимости от их атомного веса, то есть живой организм богаче легкими элементами. Такие элементы и их ионы меньше по размеру и при прочих равных условиях «подвижнее».

Кроме того, очень важно, насколько легко вовлекаются элементы в круговорот воды. Академик Б. Б. Полынов предложил определять интенсивность водной миграции как отношение количества элементов в минеральном остатке речной или грунтовой воды к содержанию этого же элемента в земной коре, водоносной породе и т. д. Оказалось, что наиболее подвижными мигрантами в биосфере являются Cl, S, B, Br, J, Ca, Na, Mg, F, Sr, Zn, U, Mo.

Какие же неорганические вещества служат пищей растениям?

На 90 процентов растительные ткани состоят из воды. Значение ее для живых организмов общеизвестно — это и среда, в которой находятся компоненты клетки, и растворитель, и химический реагент.

Примерно 9 процентов от веса растения составляет углерод, входящий в состав всех органических соединений. Растения получают его из углекислого газа, находящегося в воздухе. Углерод усваивается растением в процессе фотосинтеза, идущего с поглощением световой энергии и с выделением кислорода.

На долю остальных элементов приходится лишь один процент от веса растения, причем около четверти этого процента составляет азот. Усваивать атмосферный азот растения не могут (такой способностью наделены только некоторые микроорганизмы) и вынуждены всасывать его корнями из почвы в виде соединений. Обычно в почве таких соединений недостаточно, поэтому земледельцам приходится подкармливать выращиваемые растения искусственно полученными производными азота — азотными удобрениями.

Фосфора содержится в растениях 0,06 процента. В почве его тоже часто не хватает, поэтому и производятся в огромном количестве фосфорные удобрения. Например, суперфосфат, состоящий из смеси гидрофосфата кальция с сульфатом кальция. Комбинированное фосфорное удобрение, аммофос, помимо фосфора, содержит и ионы аммония, то есть может удовлетворять потребность растений в обоих важнейших элементах-биогенах.

Когда в середине XIX века родилась агрохимия, зем-

ледельцы получили действенное средство для повышения урожая. В 1832 году был пущен первый завод по производству суперфосфата.

Роль фосфора в организме велика. Он входит в состав вещества наследственности — нуклеиновой кислоты. Благодаря аденозинтрифосфорной кислоте клетка запасает впрок, переносит, хранит и использует по мере надобности энергию. Кроме того, фосфор входит составной частью в другие важные биологические вещества.

Металлы, в частности калий, позволяют растению всасывать из почвы воду и необходимые соли: полупроницаемые для солей клеточные перегородки и повышенная концентрация калия в клетке создают «насос», постоянно накачивающий воду в растение.

Подобно азоту и фосфору, калия тоже в почве не хватает. Его дефицит восполняется калийными удобрениями. Они представляют собой смесь хлоридов калия и натрия или смесь хлорида калия с сульфатом магния.

Но, помимо калия, растение нуждается и в других металлах. Так, кальций служит для нейтрализации, связывания органических кислот; магний входит в состав хлорофилла — непременного участника фотосинтеза; железо, марганец, кобальт, молибден, медь участвуют в окислительно-восстановительных процессах. Правда, потребность в этих элементах невелика, и их почти всегда оказывается достаточно в почве. Из неметаллов растениям необходима также сера, входящая в состав аминокислот и других веществ.

Одна из важнейших задач, поставленных Продовольственной программой перед химиками, — дальнейшее увеличение производства минеральных удобрений, повышение их эффективности и качества. Ведь, чтобы получать высокие и устойчивые урожаи, в почву нужно вносить все то, что она отдает растениям, прежде всего соединения азота, фосфора и калия.

Животные и человек также нуждаются в солях, но в отличие от растений сами не могут синтезировать ни органических соединений, ни витаминов, а должны потреблять их готовыми, в пище. А пищу нашу составляют три основных компонента: белки, жиры, углеводы. Мы получаем их вместе с растительными и животными продуктами питания. А поскольку мясо-молочными продуктами нас обеспечивают травоядные животные, то получается, что органическими веществами нас снабжают в конечном счете именно растения.

Химические преобразования в почве, которые происходят под воздействием живых организмов, не ограничиваются накоплением тех или иных элементов. Не меньшее значение имеет воздействие микробов, а также продуктов жизнедеятельности растений, животных и тех же микробов на почвенные минералы, на подстилающую материнскую породу. Образование почвенных минералов и их «биогенная деструкция» давно находятся в поле зрения микробиологов. Разлагая алюмосиликаты, микробы способны накапливать железо, алюминий, кремний, марганец. Они же образуют новые минералы с этими элементами.

В нашей стране профессор Московского университета М. А. Глазовская, а затем Т. В. Аристовская из Центрального музея почвоведения имени В. В. Докучаева в Ленинграде исследовали роль микробов в разрушении горных пород и образовании новых минералов. Американские микробиологи доказали, что микробы могут растворять даже базальтовые скалы.

Так что недаром почву сравнивают с гигантским химическим комбинатом, который перерабатывает не только все вещества, которые в него попадают, но и окружающие его воду, воздух, горные породы.

Биомасса, гумус и их превращения

Все живые существа состоят из разнообразных химических соединений углерода, иначе говоря — из органических соединений. Поэтому познание круговорота органики в природе необходимо, чтобы разобраться в жизни биогеоценозов, в образовании почвы.

Органика, углерод — отличные энергоносители. Человек привык пользоваться газом, нефтью, углем, дровами, а в основе — это все углерод, который выделяет энергию при реакции окисления. То же самое происходит и в живой природе. Еще в конце XVIII века Лавуазье установил, что дыхание — это медленное горение, то же окисление углерода. А энергия нужна всюду, где есть жизнь. В том числе и для фиксации атмосферного азота: для накопления 1 грамма азота бактерия азотобактер утилизирует 50 граммов углеводородов, а другая бактерия, клостридиум, — 170 граммов.

Не случайно говорят, что гумусовая оболочка Земли — аккумулятор и распределитель энергии в масштабах всей

планеты. Даже глубинные химические процессы в поверхностных горизонтах горных пород, то есть уже под почвой, в значительной мере идут за счет энергии, первоначально накопленной гумусом, а уже потом преобразованной в энергию химической связи минералов. Этой проблемой плодотворно занимались почвоведы Азербайджана: академик В. Р. Волобуев и С. А. Алиев. Фактически они стали родоначальниками особого направления — энергетики почвообразования, за что в 1980 году оба были удостоены Государственной премии СССР.

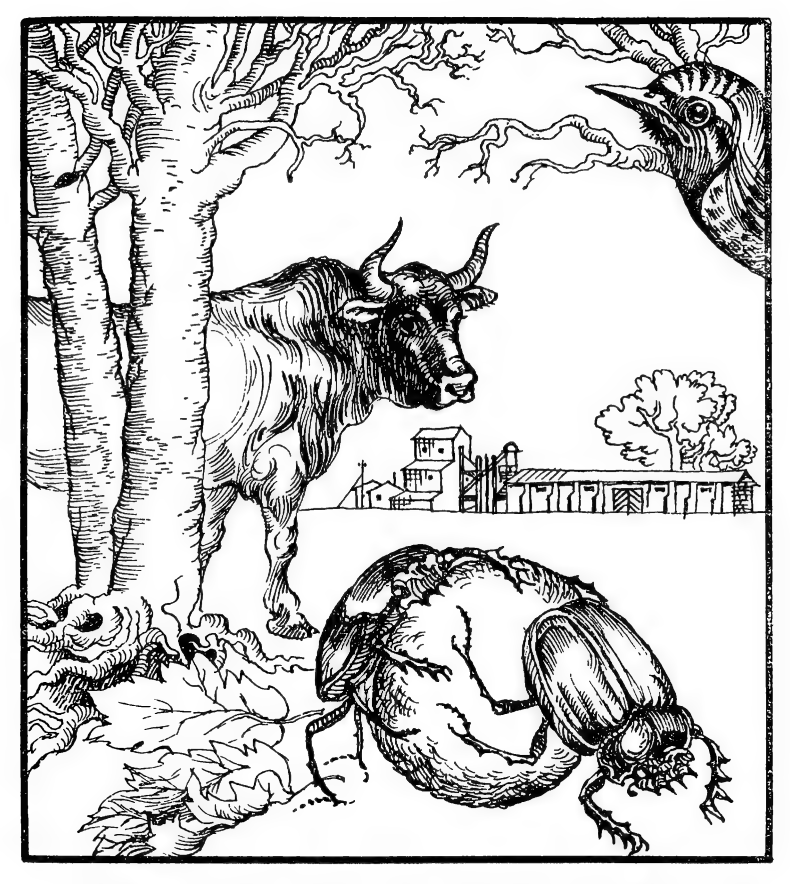
Энергия, накопленная в гумусе (а в нашей стране «рекордсменом» в этом смысле являются черноземы), настолько значительна, что если производить расчет в калориях, то в Венгрии, например, она составит более 60 процентов энергетических ресурсов страны, включая уголь, нефть и газ. Тот факт, что гумус является энергоносителем в почве, отмечался еще в 30-е годы известным агрохимиком и микробиологом З. Ваксманом в США и В. Р. Вильямсом в нашей стране.

Любая биомасса, как и любой человек, рано или поздно погибает и, разлагаясь, превращается в более простые химические соединения и, наконец, в углекислоту. Но для развития растений нужна именно углекислота, поэтому органические соединения почвы — след жизни прошлой и предпосылка жизни будущей.

Итак, на поверхность почвы падают осенние листья, засохшие ветви, отмершие деревья; в толще же почвы отмирают корни деревьев, трав, умирают микроорганизмы, почвенные животные.

Какие превращения ждут их дальше? Отмершие ткани растений подвергаются действию микроорганизмов, особенно низших грибков. В первую очередь разрушается клетчатка, а затем лигнин. При этом образуется много сильных органических кислот: щавелевой, масляной, уксусной, муравьиной, янтарной. Эти кислоты растворяют известняки, фосфаты, апатиты, разлагают алюмосиликаты, то есть разрушают саму горную породу.

И вот теперь настало время подробно рассказать о гумусе, о котором не раз упоминалось выше. Гумус — аморфное органическое вещество, которое образуется в почве в результате микробиологического и физико-химического преобразования органических соединений растительного и животного происхождения. Процесс образования гумуса называют гумификацией.



Вся цепь превращений органических веществ от растений к разного вида животным — это так называемая трофическая, или пищевая, цепь. Каждый живой организм в процессе питания преобразует органическое вещество и передает его дальше по цепи. Почва помогает веществам и элементам, потребленным животным, снова включиться в природный круговорот. Точнее сказать, не сама по себе почва, а те микроорганизмы, которые в ней живут.

Каждый комочек, каждая крупица почвы содержат мириады невидимых обитателей. От этих микробов зависит существование и растений, и животных, и человека на поверхности нашей планеты. Если бы в результате какой-нибудь катастрофы погибли все почвенные микроорганизмы, то уже через 30 лет растения израсходовали бы

весь запас двуокиси углерода из воздуха и весь азот из почвы и погибли бы от голода. А животные? Они не «протянули» бы и месяца. Дольше продержались бы только те, которые находились бы в состоянии спячки, или анабиоза.

Механически разрушают растительный материал в почве только животные. В процессе такого разрушения многократно увеличивается поверхность растительных тканей, доступная для микроорганизмов. Таким образом, животные одним лишь механическим воздействием на растительные остатки стимулируют процессы химического разложения, осуществляемые микрофлорой. В разных типах почв животные поедают от 20 до 100 процентов массы растительных остатков, ежегодно поступающих в почву в виде опада.

При разложении органических веществ, попадающих в почву, наблюдается сложная сукцессия (смена стадий) комплексов организмов, которые зависят сначала от характера разлагающегося вещества, а затем от стадии разложения, от наличия или отсутствия других организмов. Связано это с тем, что одни из организмов потребляют других. Так, известно избирательное поедание многими видами панцирных клещей и ногохвосток отдельных видов грибов и бактерий.

Много органического вещества попадает в почву в виде навоза. В почве и на ее поверхности он разрушается не только микроорганизмами, но и беспозвоночными. Известно, что экскрементами травоядных млекопитающих питаются различные навозники, причем некоторые из этих жуков «специализируются» на помете определенных видов млекопитающих. Масса растительного вещества, перерабатываемого навозниками на пастбищах, достигает $^1/_4$ растительной массы, потребленной скотом. Известны случаи, когда, например, в Австралии из-за отсутствия навозников пастбища теряли свою продуктивность, так как кучи навоза не разлагались и мешали возобновлению травы.

Минеральные вещества, прошедшие весь цикл от растения до животного, тоже поступают в почву, освободившись из органического вещества. Из почвы углекислый газ выделяется в атмосферу, откуда его перехватывают растения, а освободившиеся минеральные вещества поглощаются корнями растений.

Отмирающие растения возвращают в почву минеральные соли, которые ранее забрали, но происходит это пу-

тем сложных превращений мертвой органики, через ее разложение. Вообще растительная органика по своему химическому составу является хорошим удобрением.

В сельском хозяйстве более двух тысяч лет существует специальный прием — сидерация, когда запахивают специально высеянные травы для удобрения почвы под урожай следующего года. Так можно добиться повышения плодородия совершенно разрушенных почв на пустырях, пустошах, при этом почва не только запасается пищей для растений, но улучшается ее структура, способность впитывать влагу, увеличивается количество гумуса. Но такой прием эффективен только для почв, где высока активность микроорганизмов — разрушителей органики, да и растительные остатки пригодны не всякие: древесина будет разлагаться многие годы, а уголь может остаться неизменным и тысячелетия.

Еще в конце прошлого века исследования немецкого агронома-почвоведа Э. Вольни позволили прийти к выводу, что микроорганизмы активно участвуют в процессах разложения органических веществ в почве. А в 1884 году француз П. Дегерен выяснил, что и при отсутствии кислорода растительные остатки все же могут разлагаться, и происходит это благодаря микробам-анаэробам.

Сейчас невозможно представить наш мир без организмов и органических веществ. Но когда-то было именно так. Геохимическая история Земли делится на два больших периода: первый — когда органическое вещество отсутствовало, второй — когда оно появилось и стало оказывать огромное влияние на эволюцию планеты.

В известняках, возраст которых насчитывает 2,5 миллиарда лет, находят первые редкие следы древних организмов и органического вещества. Это было время становления биосферы, когда появился фотосинтетический кислород и началось интенсивное окисление серы, аммиака, метана, металлов. С тех пор живое вещество и продукты его распада играют всевозрастающую роль в геохимических реакциях, изменяя их течение. Однако почвенный перегной выполняет еще одну функцию — он накапливает редкие и рассеянные металлы. В состав гумуса входят кислоты, которые задерживают германий, уран, ванадий и другие металлы. Так, концентрацию германия гумус увеличивает в 10 тысяч раз, извлекая его из природных вод.

Органические кислоты и углеводы гумуса восстанавливают ионы железа, марганца и других элементов. На-

пример, в тропических болотах иногда полностью отсутствует железо — оказывается, оно извлечено гумусом.

Содержащиеся в гумусе кислоты растворяют горные породы, образуя легкоподвижные соединения. Способность гумуса образовывать с металлами соли гуминовой кислоты (гуматы) приводит к тому, что ряд химических элементов оседает на дне водоемов. На севере, где органические вещества окисляются очень медленно, или в тропиках, где они превращаются в воду и углекислоту быстрее, но их очень много, так называемые черные реки несут массу гуматов железа, никеля, марганца.

Процесс превращения органических веществ в биосфере полностью еще не изучен. Но четко вырисовывается определенная тенденция — их разложение до самых стойких в условиях биосферы молекул двуокиси углерода и воды, а также образование угля, гумуса, хитина, желтого вещества морской воды. Хотя, как заметил академик А. П. Виноградов, в осадочных породах, нефти и других содержащих углерод соединениях можно обнаружить почти все органические молекулы, которые создаются в тканях и органах растений и животных.

Как правило, почвы с высоким содержанием перегноя благодатны для растений. Известно, что в черноземных районах урожай выше, чем на других почвах. Внесение минеральных удобрений, и в частности навоза, тоже заметно увеличивает урожай. А поскольку и навоз и перегной содержат азот, то пришли к выводу: растения питаются почвенным гумусом. Такая точка зрения была выдвинута в конце XVIII — начале XIX века немецким ученым А. Д. Тэером. Так появилась на свет гумусная теория питания растений.

Тэер считал, что из органического вещества гумуса растения строят свое тело и берут все другие элементы. Поэтому он предлагал перестроить систему земледелия таким образом, чтобы поддерживать содержание гумуса в почве на постоянном уровне. Решение проблемы ученый видел в плодосмене, в чередовании сельскохозяйственных культур с разными корневыми системами. Введение плодосмена — несомненная заслуга Тэера, но что касается роли гумуса в питании растений, то здесь он ошибся.

Существует еще одна гипотеза, объясняющая высокое плодородие гумуса, так называемая микробиологическая теория.

Уже говорилось о том, что жизнь растений тесно связана с микроорганизмами. Микробы живут на листьях

растений, на их корнях. Они фиксируют из них питательные элементы. Микроорганизмы могут выделять в почву ферменты и тем активизировать почвенные процессы. И возникла мысль, что плодородие черноземов в конечном счете зависит от самого гумуса, а не от законсервированных в нем соединений азота и даже не от благоприятных физических свойств, создаваемых гумусом.

И то, и другое, и третье, несомненно, важно. И все же главное — то, что гумус создает благоприятный режим для жизни микроорганизмов. А уже микробы помогают растению, снабжая его и азотом, и другими питательными элементами, и, возможно, микроэлементами.

Академик Д. Н. Прянишников на основе многолетних опытов показал, что сами по себе органические удобрения, навоз урожая не увеличивают. Повышают урожай азот, фосфор, калий, которые в этой органике заключены. Более того, даже применение одних лишь минеральных удобрений может повысить содержание гумуса в пахотной почве; при хорошем минеральном питании лучше развиваются растения, а значит, и их корни. После уборки урожая корни перегнивают, частично превращаясь в гумус.

Можно попытаться оценить гумус как источник питательных веществ. Ю. Либих первым определил, сколько питательных веществ содержится в растениях, следовательно, сколько их потребляется из почвы. Получилось, что при средних урожаях сельскохозяйственных культур с одного гектара выносятся: 19—40 килограммов азота, 8—14 килограммов фосфора, 22—40 килограммов калия. В то же время в слое почвы в 20 сантиметров на гектаре содержится 3—11 тонн азота, 20—40 тонн калия, 400 килограммов фосфора. Но соединения, связанные с гумусом, в частности азот, менее всего доступны растениям: они хуже растворяются, чем минеральные соединения азота. Почвенный гумус постоянно вымывается дождями, а часть его окисляется до углекислоты микробами.

В среднем в течение года исчезает из почвы 6—7 центнеров гумуса в подзолистых почвах и до тонны в черноземах. Поскольку запасы гумуса на гектаре для слоя в 20 сантиметров исчисляются для подзолистых почв в 60 тонн, а для черноземов в 130—220 тонн, то, очевидно, имеющихся запасов гумуса в гектаре почвы, если он не будет восстанавливаться, хватит на 100 лет. На самом деле все намного сложнее, так как гумус в почве непрерывно образуется вновь.

Современная наука научилась точно определять возраст гумусовых веществ почвы, пользуясь радиоуглеродным методом датировки. Результаты оказались интересными и даже неожиданными. То, что растительность на земле непостоянна, изменчива, не вызывает удивления: лес сменяют пашни, поля зарастают лесом или травой, березняки сменяются ельниками и т. д. А что же почвенный гумус?

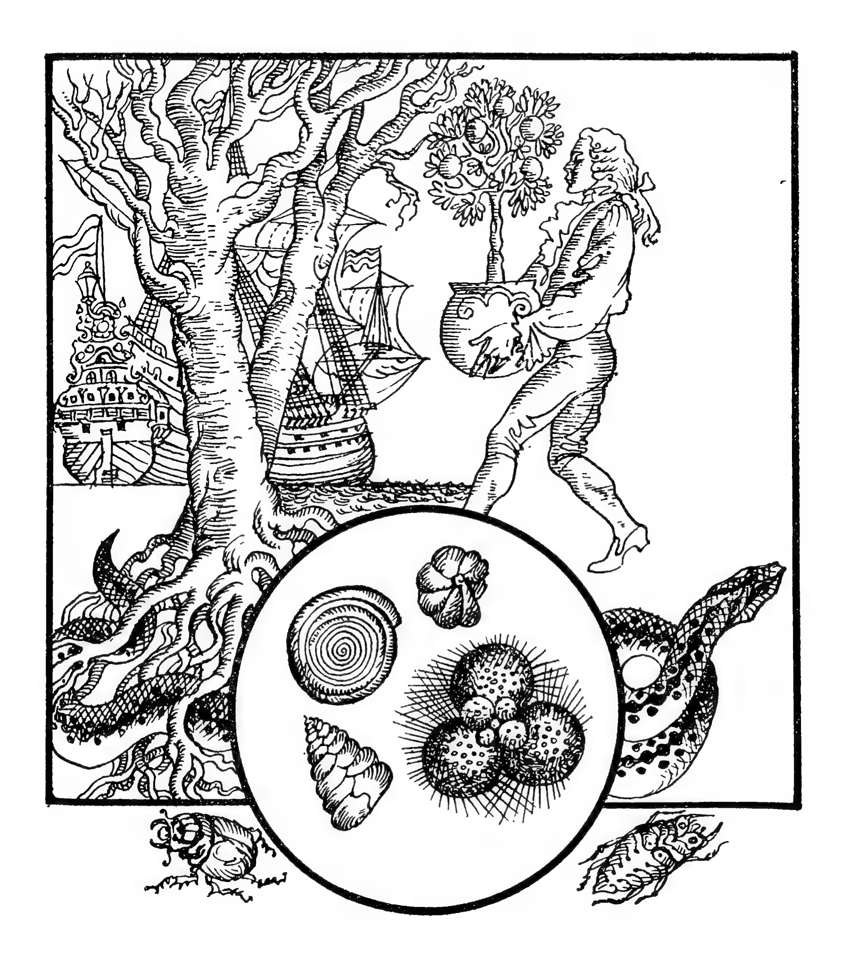
Оказалось, что и у него есть свой «век», свой возраст, причем неодинаковый для разных его химических форм. Например, возраст гуминовых кислот на поверхности черноземов европейской лесостепи составляет 660—1700 лет. Чем глубже, тем гумус древнее: на глубине 20 сантиметров ему 100 лет, полуметра — 2700 лет, метра — 4700 лет, а в самом глубоком горизонте почвы — на двух с половиной метрах, — 12 500 лет. Иначе говоря, в самой глубине почвы гумус сохранили с тех времен, когда в районе Курска и Воронежа еще бродили мамонты. Объясняется это просто: верхний слой гумуса сносится водой, его съедают микробы, он постоянно обновляется, а глубинный лежит как законсервированный. Так что не весь гумус участвует в ежегодном круговороте веществ.

То, что богатые гумусом почвы плодородны, стало известно довольно давно. Но химики установили, что действие гумуса вовсе не ограничивается снабжением растений элементами минерального питания и удержанием почвенной влаги. Гумус обладает еще буферным действием: он может закреплять микроэлементы, чем спасает их от выноса из почвы, а в случае химического загрязнения снимает их токсичность.

Как и другие природные органические вещества и образования, например подстилка из хвои и листьев в лесу, гумус — это кладовая некоторых нужных растению веществ, в особенности азота. Гумус обладает еще исключительной способностью поглощать воду: от 4 до 20 граммов воды на 1 грамм гумуса. Поглощая воду, он разбухает, а затем медленно отдает ее корням, воздуху почвы. Таким образом, гумус стабилизирует и водный режим почвы.

Итак, восстановление плодородной силы земли связано с «заправкой» пашни органикой, а не только минеральными удобрениями. Органика, навоз, торф снабжают растения элементами питания, поддерживают сложные экологические системы почвенных организмов.

Мир, который у нас под ногами



Обычный городской житель вряд ли представляет себе, сколь многообразен мир организмов, населяющих почву. Даже специалисты, занятые в сельском хозяйстве, не могут похвастаться широкой осведомленностью, разве что расскажут о вредителях, от которых надо защищать растения, да о дождевых червях, то есть о тех почвенных животных, которые были известны земледельцам еще 4—5 тысяч лет назад. А уж когда дело доходит до цифр, то они столь невообразимы, что ум человеческий воспринимает их как чистую абстракцию. В самом деле, можно ли вообразить, что под одним квадратным метром почвы скрываются 20 миллиардов простейших существ?!

Роль их в круговороте веществ трудно переоценить, так же как и их огромное воздействие на жизнь всего окружающего мира. Они необычайно полезны, перерабатывая мертвые растительные остатки, возвращая в почву элементы питания растений, разрыхляя почву и создавая ее зернистую структуру, но они способны наносить и немалый ущерб урожаю. Естественно, земледельцев интересует прежде всего их практическое значение. Внимание же зоологов привлекает и другое: им важно выяснить закономерности развития животного мира почвы и его значение в эволюции жизни на Земле.

Безжизненных почв не бывает, ибо сама почва — результат деятельности многих организмов. В мертвой на первый взгляд почве тундры обитает на одном квадратном метре до 200 тысяч нематод и десятки тысяч мельчайших членистоногих. Масса разнообразных простейших населяет перевеваемые пески, высокогорные почвы около вечных снегов. В почвах арктических и антарктических островов можно встретить много как простейших, так и многоклеточных почвенных животных. Ежегодно описывая десятки их новых видов, зоологи нередко находят представителей неведомых групп. Так, в 1907 году был описан новый, ранее неизвестный науке отряд, теперь даже выделяемый в подкласс бессяжковых насекомых, причем описан не где-нибудь, а в Италии, на земле, тысячелетия перекопанной и перепаханной, в стране, где изучение животного мира, в том числе почвенной фауны, имеет глубокие традиции. Сравнительно недавно в таком же «истоптанном» районе — в Провансе, на юге Франции, французские зоологи обнаружили огромных дожде-

вых червей, толщиной почти в два пальца и длиной около метра. Как могли их не замечать ранее?

Столь же неожиданное открытие было сделано в нашей стране в 20-е годы: в соленых подпочвенных водах в пустыне Каракумы Л. А. Бродский, один из создателей Среднеазиатского университета в Ташкенте, первого вуза в Туркестане, обнаружил представителей особого подкласса простейших — фораминифер, которые до этого считались чисто морскими жителями.

Почвенными животными занимается особая наука — почвенная зоология. Наука эта молодая (ей всего лишь три с половиной десятка лет!), развивается она бурно, обогащаясь новыми фактами, гипотезами, методами и, конечно, молодыми кадрами исследователей.

Почвенная зоология развилась на стыке почвоведения и зоологии — одной из старейших отраслей естествознания, зародившейся еще в глубокой древности; не случайно ей уделял столько внимания великий энциклопедист античного мира Аристотель.

В 1839 году по возвращении из кругосветного плавания на «Бигле» Чарлз Дарвин впервые высказал соображения о роли дождевых червей в формировании органического слоя почвы. Эта проблема занимала его все последующие годы. Итогом его работы стала вышедшая в 1881 году книга, ставшая его «лебединой песнью».

Отвечая читателям, сомневавшимся в том, что ничтожные черви способны проделывать огромнейшую работу, Дарвин с горечью писал: «Здесь мы снова сталкиваемся с тем неумением суммировать результаты постоянно совершающихся явлений, которое часто уже задерживало движение науки вперед, как это ранее было в случае геологии, а затем в связи с основами эволюции».

Труд великого натуралиста, который называли «самой интересной книгой, когда-либо написанной о почве», по сути дела, прокладывал дорогу будущей науке — почвенной зоологии.

Роль животных как фактора почвообразования признавал и В. В. Докучаев, хотя специально ее не исследовал. Больше внимания уделили этой проблеме его ученики Г. Н. Высоцкий, Н. А. Димо, изучавшие почвообразовательную деятельность животных.

В 1899 году Высоцкий, занимавшийся степным лесоразведением на юге Украины, показал, что почвенные животные, в частности дождевые черви, обеспечивают зернистую структуру почвы, создавая обильные ходы в чер-

ноземах, а это помогает корням растений проникать в глубь земли. Вообще он считал деятельность дождевых червей одним из главных факторов черноземообразования.

Н. А. Димо, работавший в начале XX века в сухих районах, обратил внимание на большую роль в почвообразовании муравьев и термитов.

Наблюдения Димо, сопровождавшиеся точными подсчетами и данными химических и физических анализов, заинтересовали почвоведов, но в их кругах царило убеждение, что деятельность почвенных животных существенна только в крайне сухих условиях, поскольку видов почвенных животных там немного, зато численность особей велика и потому особенно заметна деятельность встречающихся видов. А в почвах лесов и лугов, где почвенное население разнообразнее и обильнее, труднее выявить роль отдельных видов.

Хотя начало XX века и ознаменовалось стремительным развитием экологии с применением методов количественного учета, данных о численности почвенных животных в разных почвах почти не было. Недаром до конца 20-х годов почти во всех экологических сводках фигурировала маленькая заметка Мак Эти, опубликованная в 1907 году, о «численности животных на 4 квадратных футах» и результаты первых исследований почвенной фауны на известной Ротэмстедской станции в Англии (1913 год).

Как самостоятельная наука почвенная зоология сформировалась в нашей стране. Первые работы были начаты еще до революции, но приобрели широкий размах после Октября. И здесь прежде всего надо назвать исследования Н. А. Димо, изучавшего влияние на почвы глинистых пустынь пустынных мокриц, значение дождевых червей на поливных землях в Средней Азии, а в Грузии выявившего роль полевок как почвообразователей. К ним примыкают исследования А. И. Панкова, показавшего, как грызуны способствуют формированию мощных черноземов. Изучалось и воздействие почвенных животных на урожайность сельскохозяйственных культур в условиях вегетационных опытов.

Становлению почвенной зоологии содействовали и достижения прикладной энтомологии, интенсивно развивавшейся в связи с организацией государственной службы, прогнозировавшей опасность со стороны вредителей как в лесном, так и в сельском хозяйстве. Служба эта регулярно обследовала поля, засеянные сахарной свеклой,

проверяя, насколько почва заселена вредителями. Энтомологи составили и первые таблицы для определения обитающих в почве групп личинок насекомых, включающих вредные виды.

Пробы почвы брали, чтобы определить степень зараженности их вредителями, определить не только численность, но и распространение групп животных в разных зонах и районах.

Еще одним источником формирования новой науки стали работы университетских зоологов. До первой мировой войны университетские зоологи, как правило, вели исследования на морских биологических станциях. В годы первой мировой и гражданской войн следовать этой традиции стало трудно, и зоологи обратились к более близким и доступным объектам, среди которых особенно благодатными оказались почвенные животные. Изучение «скрытого мира» почвы открыло перед университетскими зоологами новые перспективы для экологических исследований.

В Ташкентском университете А. Л. Бродский исследовал почвенных простейших, «живые ископаемые», а позже перешел и к изучению других групп почвенных беспозвоночных. В другом молодом университете, Воронежском, К. К. Сент-Илер занимался фауной почв, в основном на пойменных лугах. В Пермском университете В. Н. Беклемишев и его школа организовали широкие количественные экологические исследования, в том числе и комплексов почвенных беспозвоночных. В Петроградском университете В. А. Догель с учениками занимался почвенными членистоногими и другими группами. Несколько позже в Киевском университете почвенную фауну днепровских террас изучал А. Ф. Крышталь.

В 30-е годы уже был накоплен обширный материал о численности тех или иных групп животных в почвах разного типа, под различного типа растительностью, о биологии некоторых представителей почвенной фауны, об их деятельности в почвах и т. д. Правда, многочисленные факты оставались разрозненными, их не объединяла общая идея. С 1944 года в Институте имени А. Н. Северцова Академии наук СССР была начата работа по исследованию экологии и эволюции почвенных беспозвоночных.

Выяснилось, что почва не только особое природное тело, как подчеркивал В. В. Докучаев, но и совершенно своеобразная среда обитания для многих групп организмов. В ней всегда присутствует вода, связанная с тверды-

ми поверхностями. В почвенной влаге растворены различные соли и органические вещества. Воздух в почвенных полостях практически всегда насыщен водяным паром и, как правило, характеризуется повышенной концентрацией углекислоты. Все эти особенности почвы делают ее (в смысле экологическом) как бы промежуточной средой между водной и типично наземной.

В почве, как и в водоемах, возможно питание разлагающимися остатками организмов; по сравнению с открытой атмосферой здесь сглажены колебания температуры; в разных слоях наблюдается такой же сезонный ход температуры, как и в водоемах; в почве возможны вертикальные миграции животных, как и в воде. Но почва, как и открытая атмосфера, позволяет дышать не растворенным, а газообразным кислородом без сколько-нибудь существенной потери влаги (как и в воде!). По физиологическим особенностям, в первую очередь в отношении водного режима, почвенные животные занимают промежуточное положение между водными жителями, обитателями открытой поверхности суши. В частности, через покровы обитателей почвы могут проникать вода, газы и ионы (как у водных обитателей), но в то же время они способны к воздушному дыханию (как и все сухопутные животные).

С 20-х годов изучение почвенной фауны интенсивно проводится во многих странах и достигнут определенный прогресс в усовершенствовании и унификации методов полевого сбора животных. Изучение процессов круговорота веществ, в которых принимают участие животные, разработка методов борьбы с вредителями — все это требовало кропотливого труда систематиков по идентификации собранного материала. Но эта работа, начатая еще К. Линнеем и его учениками на заре научной зоологии, пока еще далека от завершения. Достаточно одного примера — в лаборатории почвенной зоологии Института эволюционной морфологии и экологии животных имени академика А. Н. Северцова за время ее существования (с 1956 года — времени ее организации) было описано более 500 ранее неизвестных видов почвенных животных.

Имя им — легион

Мы уже говорили о невероятных, поражающих воображение цифрах, характеризующих численность почвенных животных. Удалось подсчитать, что в почве средней по-

лосы СССР на каждом квадратном метре можно встретить до тысячи разных видов почвенных обитателей. Среди них — до миллиона клещей и ногохвосток, сотни многоножек, личинки насекомых, дождевых червей, 50 миллионов круглых червей, численность же простейших даже трудно выразить.

Весь этот мир живет по своим законам и совершает в природе работу огромной важности: перерабатывает мертвые растительные остатки, очищая от них почву, поддерживает водопрочную структуру. Как и земледельцы, почвенные животные постоянно перепахивают почву, вынося наверх частицы из нижних слоев.

В экологии давно установлена закономерность, которая получила название «пирамиды чисел»: обычно тех организмов, которые служат пищей, должно быть по массе раз в 10—12 больше, чем тех, которые ими питаются. А организмы, которые связаны пищевыми отношениями между собой, составляют так называемые пищевые «цепи». Правильнее же говорить о пищевых «сетях», поскольку пищевые цепи в природе сплошь и рядом переплетены друг с другом и в изолированном виде почти что не встречаются.

Животных, чья жизнь связана с почвой, можно разделить на три основные группы: 1) геобионтов — тех, кто проводит в почве всю свою жизнь; 2) геофилов, у которых с почвой связана часть их жизненного пути; 3) геоксенов — случайных обитателей почвы или же использующих почву лишь в качестве убежища. По характеру питания среди них различают: 1) хищников, 2) паразитов, 3) некрофагов — тех, кто питается трупами животных, 4) сапрофагов — тех, кто питается разлагающимися остатками растений, 5) фитофагов — потребителей живых тканей растений.

Животные далеко не безразличны к свойствам почвы. Например, низкое содержание кислорода и большие количества углекислоты подавляют их жизнедеятельность. Естественно, что и среду обитания они используют поразному.

Большая часть их (коловратки, простейшие, тихоходки, гастротрихи и многие круглые черви-нематоды) обитают в тончайших пленках воды, обволакивающей почвенные частицы. Это так называемые геогидробионты. У них уплощенная или удлиненная форма, они очень невелики, нередко в десятки раз мельче родственных им обитателей пресных вод. Дышат они кислородом, растворенным в во-

де, и приспосабливаются к недостатку влаги, впадая в оцепенение и теряя при этом подвижность, а также обычно образуя цисты, коконы с прочными защитными стенками.

Другую часть составляют обитатели воздушной среды почвы. Они дышат кислородом воздуха. К ним, так называемым геоатмобионтам, относят большинство насекомых, паукообразных, ракообразных, многоножек, моллюсков, рептилий, амфибий (есть в тропиках такая группа — почвенные амфибии), млекопитающих — обитателей почвенного яруса.

Из-за насыщенности почвенного воздуха водяными парами в почве могут жить животные, которые остаются «физиологически водными», то есть не имеющими специальных приспособлений для обитания в сухой атмосфере. Таковы многие черви, ракообразные, моллюски. В почве живут и настоящие водные формы — в тончайших пленках воды, которая обволакивает почвенные частицы. Долгое время этих обитателей пленочной воды считали обычными пресноводными или морскими жителями, но оказалось, что это не так. Почву заселяют особые, почвенные организмы, а в пресных и солоноватых водах живут их близкие родственники, относящиеся к другим родам и видам.

Как же оценить количество животных в почвах? Для сравнения обратимся ко всем нам хорошо известным позвоночным.

Известна биомасса позвоночных животных в разных природных зонах. Так, на один гектар биомасса птиц в степи составляет 0,13, а млекопитающих — 6 килограммов, в лесостепи соответственно 0,6 и 12 килограммов, в смешанных лесах — 0,4 и 5,0 килограмма, в тайге — 0,83 и 1,4 килограмма живого веса.

Сводные данные по нашей стране таковы (в килограммах живого веса на один гектар): тундра — 90, северная тайга — 100—150, южная тайга — 160—350, смешанные леса — 800—1000, широколиственные леса — 1000—1500, лесостепь — 500—900, степь — 200, пустыня — около 20.

Если, как утверждают специалисты, общая продукция органического вещества на суше равна 53 миллиардам тонн, а в растительной продукции белка содержится примерно столько же, сколько в овощах, то растительность Земли на материках ежегодно производит около 320 миллионов тонн белка. Что касается диких животных, то,

учитывая среднюю биомассу позвоночных и беспозвоночных в разных природных зонах и площадь каждой растительной формации, нетрудно подсчитать, что биомасса диких беспозвоночных, не используемых в пищу человеком, составляет около 57 миллионов тонн (в пустынях, тундрах, лесах, лугах), что равнозначно 7 миллионам тонн белка. Биомассу беспозвоночных, преимущественно почвенных, приходится оценивать величиной не менее 2,1—2,5 миллиарда тонн, если же учесть, что относительное содержание белка в них такое же, как и в морских беспозвоночных, то получится около 55,6 миллиона тонн белка.

В целом содержание белка в представителях животного мира и в человеке на суше составит 116 миллионов тонн — треть того количества, которое содержится в растительности, хотя растительная биомасса на суше составляет 53 миллиарда тонн против 2,65 миллиарда тонн животной биомассы.

В подземных лабиринтах

Как известно, жизнь — это прежде всего движение. Когда речь идет о наземных животных, все предельно ясно. А каково тем, кто блуждает в подземных лабиринтах?

Животные, которые не покидают почвенных глубин, поразительно медлительны. Простейшим, чтобы преодолеть путь в 10 сантиметров, нужно не меньше трех недель. То же можно сказать и о других обитателях пленочной воды. Правда, когда воды в почве избыток, она, стекая вглубь и по поверхности, проникая по капиллярам, сама разносит таких животных. Но это — пассивный путь расселения. Мы же имеем в виду передвижение активное, самостоятельное.

Животные используют для этого естественные скважины или сами прокладывают ходы; иногда для освоения новых угодий выходят на поверхность и перебираются на другое место. Для движения по естественным скважинам нужно, чтобы размеры тела или хотя бы его диаметр были очень малы, иначе по тонкому ходу не пролезть.

В жизни этих мелких животных есть свои сложности. Они крайне чувствительны к недостатку влаги. Кроме того, их распространение зависит от физических свойств почвы: в плотных, не имеющих зернистой структуры тяжелых глинах с мельчайшими порами, как и в камени-

стых почвах с малым количеством мелкозема, число мелких обитателей скважин невелико.

По естественным скважинам передвигаются все так называемые микроартроподы — мелкие членистоногие с размерами тела 0,1—1 миллиметр. У многих червей и многоножек тело гораздо длинней, зато ширина его крайне невелика. При длине около 150 миллиметров ширина тела некоторых многоножек составляет всего 2 миллиметра. Кроме того, они способны менять ширину тела.

Многие почвенные животные роют ходы самостоятельно, но делают это по-разному: одни раздвигают почвенные частицы, как бы вклиниваясь в них, другие измельчают почву.

В первом случае животное фиксирует задний конец тела в ходе, выносит передний конец тела вперед и как бы ввинчивает его в почву, затем закрепляет на новом рубеже передний конец тела и подтягивает вперед заднюю его часть. Так передвигаются дождевые черви, личинки многих двукрылых, ряд многоножек и животные, обитающие в грунте водоемов. Этот способ имеет свои минусы. Так можно двигаться только в рыхлой почве, которая вжимается в стенки норки. Позади животного остается ход, по которому его могут настигнуть хищники. Кроме того, в таком открытом ходе, когда почва подсыхает, недостает влажности, что, как уже говорилось, почвенные животные ощущают очень остро.

Более рационально измельчение частиц почвы, которое осуществляется личинками многих насекомых, мокрицами, млекопитающими-землероями и другими животными. Для этого им нужны приспособления для рыхления и отгребания почвы, а также (у многих личинок насекомых) для закупоривания хода. У личинок таких жуков, как щелкуны, чернотелки, жужелицы, есть зубцы или выросты на заднем конце тела, которыми личинка упирается в стенки хода; подвижное сочленение сегментов позволяет изменять длину тела. На заднем конце тела у многих личинок щелкунов и чернотелок образуется особая площадка, «тачка», с помощью которой личинка затыкает ход измельченной землей.

Самостоятельно прокладывают ходы и так называемые С-образные личинки, например, хорошо многим знакомые личинки майских жуков. Такие личинки проникают в глубь земли до двух метров, но движутся здесь они совершенно иначе: ногами и головой измельчают почву и отгребают ее к заднему концу тела, хвостовой частью и



спиной земля вдавливается в стенку камерки. Затыкая ход, животные поддерживают в камерке постоянную высокую влажность воздуха, а главное — они могут не опасаться нападения хищников, которых в почвах более чем достаточно. Но чтобы активно прокладывать ход, нужны немалые усилия, а это доступно только более крупным животным. Ни одна из групп микрофауны так передвигаться не может.

А вот позвоночные животные могут двигаться таким способом и по проложенным ранее чужим ходам. Подземные лабиринты прокладывают самыми разными способами: кроты работают передними лапами, слепушонки отгребают почву сильными задними ногами, слепыши рыхлят землю, прокладывая ход зубами. Некоторые африканские грызуны роют всей семьей: упираются друг в

друга, помогая переднему копать, а затем время от времени меняются местами. Крупные звери, например барсук, устраивая нору, много трудятся и задними лапами, выбрасывая землю из хода. Поселиться же в чужих готовых норах любителей предостаточно: ласки, горностаи, хори, лисы, змеи, ящерицы, жабы, совы.

Как бы ни была разнообразна роющая деятельность животных, суть ее сводится к перемещению материала из нижних горизонтов на поверхность, затаскиванию вглубь растительных остатков и гумусного поверхностного слоя, изменению химического состава и структуры почвенного покрова. В разных почвенных зонах интенсивность этого процесса различна, но в наиболее благоприятных для животного населения почвы условиях они могут перерабатывать на одном гектаре до 225 тонн почвенной массы за год, полностью перемешивать поверхностный корнеобитаемый слой примерно за 20 лет.

Жизнь в почве решающим образом влияет на физиологию и образ жизни животных. Дело в том, что у почвенных животных водные предки. Условия в воде и на суше настолько различны, что сразу такой переход совершить невозможно. Почва и оказалась той промежуточной средой, через которую водные животные заселяли сушу. При переходе на сушу самой сильной угрозой для водных животных была гибель из-за потери воды — ведь никаких специальных приспособлений у них для защиты от высыхания нет. А вот у наземных форм таких приспособлений множество. Во-первых, их покровы, непроницаемые для воды, во-вторых, экономное использование воды, в частности, выделение обезвоженных продуктов обмена.

О приспособлении к окружающей среде говорят и способы размножения: наземные существа не могут, в отличие от многих водных, просто выбрасывать сперму и яйца наружу, поскольку они сразу же высохнут и погибнут. Отсюда внутреннее оплодотворение, живорождение, формирование прочных, непроницаемых для воды стенок у яиц.

И конечно, животные сами всячески стремятся восполнить запас воды: они всасывают ее через кожу, пьют капли росы, очень экономно обращаются с водой, которая была в пище. Наглядный пример — платяная моль, которая прекрасно обходится, питаясь одной лишь сухой шерстью, а необходимую воду получает в процессе переваривания и окисления пищи; такую воду называют метабо-

лической — она образуется в процессе метаболизма, химических превращений.

Необходимость приспосабливаться диктует и определенное поведение животных, например, выбор места, пригодного для жизни, а также наиболее подходящего времени для удовлетворения потребности в пище, воде, размножении. Убедительное свидетельство такой приспособляемости—вертикальные миграции животных. То, что дождевые черви при наступлении холодов или при засухе уходят в глубокие слои почвы, известно было давно. Позднее обнаружили, что регулярные вертикальные миграции совершают практически все активно передвигающиеся животные: личинки хрущей, проволочники, мокрицы, ногохвостки, клещи и т. д., причем все они реагируют на малейшие изменения среды, даже если относительная влажность уменьшится на 0,5 процента, а температура, скажем, возрастет на 0,5 градуса.

Мелкие членистоногие (клещи и ногохвостки) совершают миграции в глубоких слоях почвы даже зимой, когда верхний слой замерзает. Во время оттаивания почвы эти животные перемещаются в более поверхностные слои, хотя температура среды в это время часто не превышает 1—1,5 градуса Цельсия.

В засушливых областях при неблагоприятных условиях животные меняют свой образ жизни: они становятся наиболее активны в ночное время, питаются сочными корнями растений, даже сокращают время своего развития. Быстрое развитие, кстати, характерно и для многих почвенных животных севера, в распоряжении которых слишком короткий теплый период.

В какой-то степени почвенные обитатели изменяют и среду обитания: личинки насекомых, создавая в почве камеры, уплотняют их стенки, чтобы предотвратить уход влаги через них, поддерживают в камерах высокую относительную влажность воздуха. Так же поступают и дождевые черви, наносящие на стенки камеры экскременты, а термиты регулируют влажность в своих гнездах, соответствующим образом располагая камеры и создавая систему вентиляции.

Современная зоология насчитывает 72 класса животных в 23 типах. Почвенные формы имеются в 19 классах из 10 типов. Известны два класса животных, всегда связанных только с почвой, — многоножки; они не живут ни в море, ни в пресных водах, среди них нет паразитов.

Рассмотрим основные группы почвенных обитателей.

Мельчайшие одноклеточные существа, объединяемые в тип простейших, заселяют все типы почв. Как уже говорилось, на один квадратный метр может приходиться 20 миллиардов таких животных. В почвах можно встретить только представителей трех групп: корненожек, жгутиконосцев и инфузорий. Колоссальная численность и всесветное распространение не привели, однако, к столь же широкому видообразованию. Во всем мире насчитывается всего лишь около 300 их видов. В Европе обнаружены представители 34 видов жгутиковых, 58 — корненожек и 32 — инфузорий, причем виды эти распространены крайне широко.

Простейшие различаются по своей экологии и численности: амебы и жгутиконосцы достигают 10^3—10^6 особей в грамме влажной почвы, инфузории — 10^3, а раковинные амебы — 10^4 в лесу и до 250 в грамме полевой почвы. Как ни малы размеры этих существ (обычная длина почвенных жгутиковых — 2—5 микрон, амеб — 10, инфузорий — 10—20 микрон), их биомасса из-за колоссальной численности может быть значительна и достигать 1—10 граммов на квадратный метр. Еще значительнее их продукция в период активного существования, поскольку эти животные, состоящие из маленького кусочка протоплазмы и ядра, способны необыкновенно быстро расти. Известно, что, например, амебы могут произвести массу протоплазмы, в пять раз превышающую их первоначальный вес, за 24 часа, а жгутиковые даже еще быстрее. В природе, разумеется, такие темпы размножения невозможны, и популяция простейших в почве обновляется за 1—3 дня, а в год бывает 50—300 генераций (по данным для Западной Европы).

Основная пища простейших — бактерии, которых они поедают в огромных количествах. Бактерии, как известно, оказывают человеку неоценимую помощь, перерабатывая отмершие растительные остатки. Поэтому англичанин Э. Рэссель, первым открывший питание простейших азотобактером в 1909 году, решил, что все они вредны, и предложил стерилизовать почву для защиты от простейших.

Опыты, однако, показали, что в природе все обстоит сложнее. Простейшие могут съесть лишь малую часть микробов, но этот ущерб перекрывается пользой, которую они приносят: они выделяют биологически активные ве-

щества, стимулируют рост тех же микроорганизмов, корней растений, повышают всхожесть семян, подавляют активность вредных для растений грибов. И к тому же служат пищей многим другим организмам. Так что, освободив почву от простейших, например путем нагревания, мы едва ли получим пользу.

При наступлении неблагоприятных условий простейшие переходят в состояние покоя, образуют цисты. Такие цисты способны сохраняться десятки лет, а затем могут снова «воскреснуть», вернуться к активной жизни. В форме цист простейшие легко разносятся ветром на огромные расстояния — этим и объясняется их распространение в разных зонах, на разных континентах и островах.

Особо стоит упомянуть о своеобразной группе корненожек — фораминиферах, обнаруженных советским зоологом А. Л. Бродским в подпочвенных водах пустынь Средней Азии, где эти простейшие живут только в грунтах, насыщенных засоленной водой (а обнаружить их можно в воде многих колодцев), и в почвенной влаге глубоких слоев песков в Каракумах. Вероятно, эти формы, имеющие родственные связи только с морскими обитателями, являются далекими потомками морской фауны, населявшей в отдаленные геологические эпохи огромное море на территории теперешней Средней Азии. По мере усыхания моря они все больше связывали свою жизнь с грунтом, а когда море окончательно высохло, стали жить в соленой грунтовой воде.

Обитатели пленочной воды

В пленках воды вокруг почвенных частиц постоянно обитает множество очень мелких животных, относящихся к разным типам червей или к родственным червям группам.

Почва — сложная трехфазная среда, она включает твердую часть — минеральную, воду и воздух. Благодаря мелким полостям в почву проникают воздух и вода. Возникают своего рода микроводоемы, служащие средой обитания для простейших даже в период засухи.

Условия существования в этих ограниченных жизненных пространствах — передвижение в узких промежутках между частицами почвы, существенное отличие почвенной влаги от наземной (пониженная точка замерза-

ния, иной химический и газовый состав, наличие коллоидов) — характеризуют своеобразие почвы как среды обитания мельчайших животных.

Среди обитателей пленочной воды в почвах различают несколько групп. Рассмотрим их подробнее.

Нематоды. Это мелкие, а подчас микроскопические животные, относящиеся к типу круглых червей. Как и простейшие, они обитают в тонких пленках воды или гниющих субстратах, а некоторые паразитируют на растениях. Численность же их обычно достигает нескольких миллионов на один квадратный метр, на кислых почвах она может снизиться до нескольких сот тысяч, а в особо благоприятных условиях возрастает до 50 миллионов.

Питаются эти прозрачные червячки гниющими останками животных, разлагающимися и живыми тканями растений, почвенной микрофлорой, водорослями, продуктами разложения тканей высших растений. Среди почвенных нематод много фитопаразитов и хищников, питающихся простейшими и более мелкими нематодами и другими беспозвоночными. Некоторые из нематод специализируются на питании грибным мицелием. Установлено, что нематоды ежедневно могут поедать такое количество бактерий, которое превосходит их собственную массу в десять раз.

Нематоды, помимо прямого участия в процессах разложения органических остатков, играют большую роль как регуляторы микрофлоры. Кроме того, нематоды принимают участие в механическом разрушении растительных тканей: они «вбуравливаются» в отмершие ткани и с помощью своих ферментов разрушают клеточные стенки, давая возможность проникнуть в растения бактериям и грибам. Деятельность нематод имеет большое значение при разрушении корней. Процесс отмирания корней часто начинается при заражении их паразитическими нематодами.

Все почвенные нематоды очень малы, длина их не превышает одного миллиметра. Исключение составляют мермитиды — длинные нитевидные черви длиной до 10—15 сантиметров, но это — паразиты насекомых, проводящие в почве только часть жизненного цикла и здесь не питающиеся.

Нематодам сопутствует дурная слава: в них прежде всего видят вредителей, от которых страдают культурные растения. Нематоды действительно разрушают корни картофеля, лука, риса, хлопка, сахарного тростника, са-

харной свеклы, декоративных и других растений. Советские зоологи, однако, разрабатывают, и не без успеха, меры борьбы с ними на полях и в теплицах. Особенно весом вклад в изучение этой группы животных известного биолога-эволюциониста А. А. Парамонова.

Нематоды издавна привлекали внимание эволюционистов — и из-за огромного разнообразия, и тем, что они поразительно устойчивы к воздействию физических и химических факторов. Где бы ни начали изучать этих червячков, повсюду обнаруживают новые, неизвестные науке виды. В этом плане нематоды всерьез претендуют на второе — после насекомых — место в животном мире: специалисты сходятся на том, что их не менее 500 тысяч видов, но есть основания полагать, что истинная цифра ближе к миллиону. Специалисты насчитывают около 2 тысяч видов почвенных нематод.

Энхитреиды — мелкие кольчатые черви длиной в 10—25 миллиметров — обитают в местах, где много разлагающегося органического вещества; они встречаются как в почвах, так и в грунте водоемов. Особенно много их в кислых органических почвах — от 85 до 250 тысяч на квадратный метр. Биомасса энхитреид на таком же пространстве составляет часто 0,3—30 граммов. Энхитреиды перерабатывают органическое вещество, способствуют накоплению в почве гумуса, очистке сточных вод. В качестве корма для молоди рыб на осетровых заводах специально разводят «белого энхитрея».

Подобно дождевым червям, энхитреиды, совершая миграции в почве, прокладывают ходы, улучшают водный и воздушный обмен, а также в известной мере способствуют перемешиванию поверхностных слоев почвы, но заселяют они в основном самые верхние слои почвы — до 20—30 сантиметров.

Довольно велика роль этих червей в северных районах. Так, в Якутии на вечномерзлотных почвах биомасса энхитреид достигает 5—6 граммов на квадратный метр, что составляет половину от биомассы дождевых червей. Интересно, что энхитреиды охотно питаются экскрементами дождевых червей, которые, в свою очередь, едят экскременты энхитреид.

Энхитреиды — гермафродиты, но многие виды могут размножаться и партеногенетически; скорость развития зависит от температуры. В отношении водных форм известно, что их цикл продолжается от 68 до 261 дня. По степени пигментации, размерам и экологическим осо-

бенностям различают энхитреид подстилки, гумусового и минерального слоев почвы.

Третью многочисленную группу обитателей влажных почв и других субстратов, таких, как подушки мхов, представляют тихоходки. У них четыре пары нечленистых ножек с коготками, короткое уплощенное тело, обычные размеры которого у почвенных тихоходок — 0,2—0,3 миллиметра.

Они обладают необыкновенной способностью быстро впадать в анабиоз и переносить в таком состоянии сильные физические воздействия: в течение 20 месяцев они выдерживают температуру минус 190 градусов, спокойно переносят облучение высокими дозами рентгеновских, гамма- и ультрафиолетовых лучей, высокие концентрации кислот и т. п.

Питаются тихоходки содержимым растительных клеток, мелкими животными. Их численность особенно высока в насыщенных водой мхах. В лесной зоне Европы обычно регистрируют 40—60 видов тихоходок в одном районе. В СССР, где эти животные изучены еще недостаточно, их известно всего 70 видов. Но и имеющиеся уже данные позволяют считать их, как и почвенных простейших, самыми настоящими космополитами. Отдавая себя на волю ветра и воды, эти маленькие всеядные существа способны перемещаться на огромные расстояния и приживаться в разных концах планеты.

Мезофауна

Это среднего размера, хорошо заметные и известные многим почвенные животные. Наибольшее значение в почве имеют дождевые черви, многоножки, насекомые. С дождевыми червями люди знакомы довольно хорошо. В нашей стране их около 100 видов, принадлежащих к трем семействам. Интересно, что 19 видов червей европейской фауны расселились по всей земле благодаря человеку, который культивировал в новых районах сельскохозяйственные растения, а в Европу, в свою очередь, проникли тропические виды — в теплицы, оранжереи. Исключительно велика роль червей в почвообразовании. Черви прокладывают в земле огромное количество ходов, затаскивают вглубь растительные остатки, выбрасывают на поверхность почву глубоких слоев. Черви составляют основу пищевых цепей: червями питаются кроты, мыши,

птицы, землеройки, жабы, лягушки, хищные многоножки, насекомые.

В процессе пищеварения в кишечнике червей происходит разложение клетчатки и частичная минерализация растительных тканей. Кроме того, у этих беспозвоночных наблюдается интенсивное образование гумусовых веществ.

Черви стимулируют развитие ряда групп микроорганизмов, численность которых в их экскрементах значительно выше, чем в окружающей почве и в пище, заглатываемой животными. Благодаря этому почва обогащается ферментами, что активизирует ряд важных элементов питания растений. Результат стимуляции червями микробной активности — обогащение почвы витаминами группы B.

В средней полосе СССР урожайность многих культурных растений (ржи, ячменя, картофеля) прямо зависит от численности дождевых червей в почве.

Среди червей различают обитателей подстилки (они относительно мелкие, пигментированные, несколько уплощенной формы) и обитателей глубоких слоев почвы (они более крупные, цилиндрические, слабо пигментированные или бесцветные). Соотношение этих групп меняется в зависимости от почвенно-растительных условий. Для нашей страны обычны люмбрициды, размер которых от нескольких до 70—80 сантиметров.

В оранжереях и в субтропических почвах Колхиды можно найти мегасколецид. В СССР мегасколециды не отличаются по размерам от других дождевых червей, но более активны и обладают упругим цилиндрическим телом; именно к этому семейству относятся огромные дождевые черви Австралии, достигающие 1,5—3,5 метра длины и толщины в руку человека.

На юге Приморского края в наиболее теплых и влажных почвах нередко можно встретить представителей третьего семейства — монилигастрид, которые обычны для Кореи, Японии, Китая и Юго-Восточной Азии.

Дождевые черви роют в почве норки, вбуравливаясь головным концом, а затем расширяя ход. Если почва настолько плотная, что не может быть впрессована в стенки хода, черви пропускают землю через кишечник и часть выбрасывают на поверхность. Ходами червей пользуются многие другие животные, в том числе и враги.

В наиболее благоприятных условиях (чаще всего это широколиственные леса) численность дождевых

червей достигает 500—800 на один квадратный метр, а биомасса равна 290 граммам. Обычно же биомасса составляет от 40 до 120 граммов на квадратный метр. Червей нет лишь в сухих жарких районах, начиная от юга степной полосы и до пустынь. Там их можно встретить только в увлажненных местах (поймы рек, берега арыков, поливные земли).

В широколиственных лесах Европы черви ежегодно возвращают в почву около 100 килограммов азота на гектар. Если учесть, что в лесах с опадом листьев обычно возвращается в почву лишь 30—70 килограммов азота в год, то значение червей станет особенно очевидным.

Эти малоподвижные животные, устойчивые к изменениям среды, — удобный объект для изучения того, как изменения в окружающей среде, вызванные деятельностью человека, отражаются на животном мире. В частности, дождевые черви оказались подходящим биоиндикатором при исследовании радиоактивных загрязнений.

Многоножки. Под этим названием объединяют четыре самостоятельных класса трахейнодышащих членистоногих животных. Мелкие (несколько миллиметров длиной) симфилы могут быть хищниками, а могут питаться и гниющими тканями растений, и нежными проростками, иногда даже приносить вред. Еще более мелкие пауроподы с ветвистыми усиками немногочисленны и не имеют существенного значения.

Совсем иные животные — диплоподы, среди которых многим известны кивсяки. Да их и нельзя не заметить: на юге они достигают немалого размера, до 10 сантиметров длиной. В тропиках кивсяки огромны — в палец толщиной и до 15—17 сантиметров длиной. Диплоподы отличаются тем, что почти на всех члениках их вытянутого тела по две пары ног; иногда их называют тысяченожками, хотя на самом деле ног у них не более 135 пар. Иногда они массами переползают через дороги, а в лесах Кавказа некоторые белые кивсяки выдают свое присутствие едким неприятным запахом. Кивсяки защищаются от врагов едкими выделениями, а некоторые тропические виды выбрызгивают из пор туловища даже синильную кислоту.

В почвообразовании диплоподы играют большую роль. Питаются они мертвыми растительными остатками, вовлекая в почву листовой опад, способствуют его гумификации, их экскременты становятся мелкими зернистыми

структурными элементами почвы. Кроме того, в своих твердых покровах они накапливают много углекислого кальция, который укрепляет водопрочность почвенной структуры. Последнее время кивсяки и другие диплоподы привлекают особое внимание как организмы, помогающие выявлять загрязнение среды, — в их панцире, в частности, накапливаются радиоактивные элементы (радиоактивный стронций, уран) и тяжелые металлы (свинец).

Кивсяки плохо переносят жизнь в кислых почвах. Страдают они и от сильных морозов. Когда серых кивсяков вывезли из Ворошиловградской области в леса Зауралья, лето они прожили благополучно, а зимой вымерзли.

Многоножки-диплоподы замечательны своими массовыми миграциями. Еще римский автор II—III веков Клавдий Элиан описывал случай, когда нашествие многоножек заставило жителей одного города покинуть свои дома. Не раз наблюдали нашествия полчищ этих существ в США, Венгрии, во Франции, странах Балканского полуострова, несколько реже — в Швеции, Польше, странах Центральной Европы, Прибалтике. Миллиардными шеренгами ползут они, облепляя железные и шоссейные дороги, останавливая поезда, оставляя после себя только кучи землистых экскрементов и обглоданные пни. Масса многоножек погибает в пути, их трупы забивают колодцы, рвы, канавы, смрад стоит невыносимый. Ни одно животное не употребляет диплопод в пищу. До сих пор неизвестно, что заставляет многоножек мигрировать. Полагают — что перенаселенность пригодных для жизни мест обитания.

К классу губоногих многоножек относятся хищные формы. Более мелкие (1—3 сантиметра) — костянки — распространены по всей стране, крупных можно найти под камнями в Крыму, на Кавказе, в Средней Азии. Сколопендры ядовиты, и укусы их болезненны для человека. А вообще эти хищники — поистине гроза для почвенных насекомых, мелких ящериц и другой напочвенной живности. Родственниками сколопендры в почвах, особенно южных, являются тонкие желтоватые геофилиды с числом члеников тела от 39 до 177; они спускаются за своей добычей (или же прячутся от засухи) на глубину до метра.

Геофилида тщательно охраняет свое потомство (яйца и молодь), обвиваясь как змея вокруг кладки. Хищные многоножки не слишком разборчивы в еде — они поеда-

ют любую живность, на которую наткнутся, но особенно часто их добычей становятся мелкие дождевые черви, а также энхитреиды.

Паукообразные. В подавляющем большинстве относятся к мезофауне. Это пауки, сенокосцы, скорпионы, сольпуги. Все они — хищники, многие ядовиты. О мелких паукообразных — клещах — речь еще впереди.

Насекомые. Эта гигантская группа животных включает, по разным оценкам, 1—1,5 миллиона разных видов животных. У 95 процентов из них жизненный цикл полностью или частично связан с почвой. Среди насекомых несчетное количество вредителей растений, паразитов домашних животных. Насекомые-вредители ежегодно уничтожают около 15 процентов урожая. Такие почвенные вредители, как проволочники, медведки, гусеницы совок, корневые тли, например, на винограде — филлоксера, самый настоящий бич растениеводства. От личинок майских жуков страдают молодые лесопосадки, от личинок рисового долгоносика — рис.

В некоторых районах разложению растительных остатков способствуют личинки двукрылых: разнообразных мух и комаров. Их множество — в широколиственных и хвойных лесах, в тундре, лесостепи и даже в полупустынях под пологом древесной и кустарниковой растительности. Личинки комаров-долгоножек встречаются в подстилке, почве, гниющей древесине. Благодаря им происходит первичное разложение листового опада, при этом они активно переваривают клетчатку. Личинки мух бибионид и ликориид, живущие в почве многочисленными колониями, полностью разрушают растительные остатки, превращая их в тонкозернистую гумифицированную массу. Личинки мух могут разрушать и хвойный опад.

Личинки так называемых комнатных мух интересуют экологов как возможные потребители отходов свиноводческих комплексов. Эти отходы они перерабатывают в пригодное для полей удобрение, биомасса самих личинок, если обработать их горячим паром, может служить белковой добавкой к корму свиней. Такие опыты успешно проведены в Подмосковье, в Эстонии.

На всей территории нашей страны привычны для нас представители еще одного отряда насекомых — жуки, особенно их личинки.

Интереснейшая группа обитателей южных почв — термиты. Подобно пчелам или муравьям, они животные

общественные. Каждая их колония состоит из потомства одной гигантской семьи. В нашей стране они распространены широко, но особенно много их на юге Туркмении и Таджикистана. В тропических районах термиты сооружают обширные гнезда под землей или на ее поверхности в виде наземных холмиков. В жарких пустынях термиты прокладывают галереи в почве на глубину до восьми метров. По наблюдениям Н. А. Димо, который первым в нашей стране стал изучать почвообразующую деятельность термитов, в пустынях Узбекистана эти насекомые заселяют самые разнообразные почвы, нет их только на солончаках с уровнем грунтовых вод выше 2,5 метра.

Прокладывая ходы, термиты выбрасывают землю на поверхность, улучшают температурный, водный, газовый и солевой состав почвы, а затаскивая глубоко в ходы растительные остатки, повышают содержание перегноя на 20—40 процентов.

Поддерживая плодородие почв, термиты приносят несомненную пользу, но людям поселяться рядом с ними опасно. Эти насекомые разрушают жилье, поедая деревянные конструкции домов, что особенно ясно обнаружилось во время ашхабадского землетрясения в 1948 году. Термиты не выносят полива, а оставленные ими в почве ходы и полости способствуют усиленной фильтрации воды, так что для орошения ее требуется в два-три раза больше. Да еще почву приходится выравнивать, так как на месте подземных термитников почва проседает.

Термитники состоят из почвенных частиц, которые скреплены экскрементами насекомых и выделениями их слюнных желез. Интересно, что термиты сами не переваривают клетчатку растений, это делают за них особые простейшие — симбиотические обитатели их кишечника. Деятельность термитов изменяет состав почвы: песчаные и глинистые почвы превращаются в суглинки. Средняя продолжительность жизни термитников — 5—10 лет. После их разрушения материал построек равномерно распределяется по поверхности почвы. Гигантские термитники достигают высоты 2,7 метра и сохраняются до 700 лет.

В пустынях на юго-западе США термиты питаются на поверхности почвы живыми и отмершими остатками трав, сухой древесины и навозом, сооружая из почвы футляры вокруг пищевых объектов. Биомасса термитов составляет в пустынных районах 5—22 грамма на квад-

ратный метр. Суточный их рацион составляет 2,4 процента от массы тела.

Наряду с растительными остатками термиты потребляют и значительное количество живой растительной массы, чем наносят заметный ущерб растительному покрову.

Немаловажную роль в жизни почвы играют муравьи. Их биомасса подчас равна 50 килограммам на гектар, и они регулируют численность других насекомых. В степных почвах и в лесостепи, а иногда и на лугах муравьи, устраивая свои гнезда в виде земляных холмиков, способствуют перемешиванию почвы.

В широколиственных лесах в первичном разложении листового опада и древесины участвуют рачки-мокрицы, которых немало также в степных и засушливых районах. В пустынных сероземах мокрицы — одни из наиболее активных почвообразователей.

Большая часть мокриц относится к сапрофагам. Наземные подстилочные мокрицы потребляют в основном листовой опад и древесину. Они концентрируются в гумусном слое почвы, а также под корой пней и колод.

Мокрицы нуждаются в таких элементах, как кальций и медь. Первый необходим им для панциря, поэтому в опаде они усваивают его на 79—94 процента. Медь же входит в состав дыхательного пигмента мокриц. Они извлекают ее из пищи фактически на 100 процентов. Наблюдения в лабораторных условиях показали, что наряду с растительной пищей мокрицы поедают свои экскременты, из которых усваивают остатки меди, выброшенные вместе с конечными продуктами обмена.

Пустынные мокрицы питаются остатками трав и полукустарников, которые собирают на поверхности почвы и затаскивают в норы. Экскременты ежедневно выбрасывают на поверхность земли вместе с частичками почвы, осыпавшимися со стенок ходов. Таким образом происходит перемешивание минеральных слоев почвы и верхний горизонт обогащается минеральными солями в доступной для растений форме.

Последняя группа мезофауны, о которой следует сказать, — моллюски. В почве проводят почти всю свою жизнь всем известные слизни, обычные и в городах. А на юге нашей страны, в оазисах Средней Азии, в Молдавии, в Закавказье они являются злостными вредителями огородных культур.

К микрофауне относят животных размером от 0,1 до 2—3 миллиметров. Это и мелкие паучки, термиты и муравьи. В условиях нашей страны надо особо выделить две группы — клещей и ногохвосток.

Клещей можно встретить в почвах везде, от Арктики до тропических лесов. Особенно многочисленны панцирные клещи (орибатиды). Численность их в лесах с мощной подстилкой доходит до 200—300 тысяч на квадратный метр при биомассе до 20 килограммов на гектар.

Питаются они гифами грибов и разлагающимися растительными остатками.

В пустынях (а в других зонах — на полях) на первый план выдвигаются растительноядные клещи — простигматы. В СССР почвенных клещей известно не менее 1500 видов, из них половина — панцирные.

Численность и биомасса клещей зависят от обилия растительных остатков в почве, ее увлажнения, величины радиационного баланса. Любопытно, что в тайге на единицу площади биомасса панцирных клещей превышает биомассу птиц и млекопитающих, вместе взятых. Количество поколений этих клещей в разных природных зонах неодинаково. Если оценить общую биологическую продукцию орибатид за год, то в южной тундре она составит на квадратный метр 1 грамм, в тайге — 6, широколиственных лесах — 8, степях — 2,2, полупустынях — 1, пустынях — 0,1, влажных субтропиках — 13. Стоит отметить, что «чистая продукция» орибатид вдвое выше, чем у грызунов, в 6,5 раза выше, чем у птиц, и в 3 раза выше, чем у муравьев.

Панцирных клещей не смущает присутствие человека и его деятельность, видоизменяющая ландшафт. Они спокойно живут в пахотных орошенных почвах, оставаясь одним из последних «реликтов» древнейшего животного населения.

Вред от клещей бывает немалым — ведь многие из них питаются соками и тканями растений, полезных для человека. Но люди научились эффективно бороться с такими вредителями, используя других, хищных клещей.

Об этом огромном мире, насчитывающем 50 тысяч видов, известно пока еще мало. Только в СССР ежегодно описывают 10—12 новых для науки видов. В трехтомном «Определителе почвенных клещей», вышедшем в свет в 1978 году, описано, например, 545 новых для нау-

ки видов и 57 новых родов. О них даже специалисты фактически ничего прежде не знали. Интересно, что один такой новый вид из этой группы был обнаружен в лесопарковом поясе Москвы.

Роль клещей в почвенных процессах особенно велика в северных районах, в тайге. Они являются первыми потребителями свежего еще опада листьев, они же распространяют споры грибов, некоторых простейших, что особенно важно для нижних горизонтов почвы.

Ногохвостки (коллемболы) — низшие бескрылые насекомые, — вторая по численности группа микроартропод, но нередко, например в тундре, их даже больше, чем клещей. В высокогорьях, в Арктике и Субарктике у них может быть одно-два поколения, южнее это число возрастает, а в лаборатории некоторые виды способны дать до 12 генераций в год. Численность ногохвосток колеблется в пределах 10—50 миллионов на квадратный метр, а биомасса — от 0,2 до 6,4 грамма. Они поразительно устойчивы к низким температурам и нередко бывают активны даже в мерзлой почве, а развитие их яиц не прекращается вплоть до плюс 2—3 градусов.

Удивительную картину можно видеть весной в районах вечной мерзлоты, особенно в сибирской тайге, после первых дождей: лужи в лесу покрыты сплошной пленкой из ногохвосток. В воде эти насекомые не тонут, а в глубь почвы (как и вода) уйти не могут — не пускает мерзлота.

Эти беспозвоночные обитают в основном в подстилке и верхнем слое почвы и не совершают глубоких миграций, но есть среди них и слепые обитатели нижних слоев почвы. Питаются ногохвостки низшими споровыми растениями, а в определенные сезоны в состав их рациона входит пыльца хвойных. Кроме того, они потребляют в небольшом количестве ткани сильно разложившегося листового опада, остатки животных, а иногда выступают и в роли хищников.

Некоторые коллемболы благополучно уживаются с микроорганизмами и с их помощью переваривают клетчатку. Нередко они встречаются в скоплениях экскрементов более крупных почвенных животных, например дождевых червей, и питаются непереваренными частицами растительных остатков, уже обработанных ферментами в чужом кишечнике. Ногохвостки довершают механическое разрушение клеточной структуры, их экскременты пред-

ставляют собой тонкозернистую массу, которая внешне напоминает тот субстрат, который почвоведы называют зоогенным муллем. Но здесь необходимо небольшое отступление.

Почвообразующая роль микрофауны не была ясна до тех пор, пока не появился новый метод изучения почвенной структуры и деятельности почвенной фауны, в том числе микрофауны. Суть его сводится к тому, что почву пропитывают специальными составами, которые затвердевают, после чего делают тонкие срезы почвы и изучают их под микроскопом.

Еще до второй мировой войны была опубликована интереснейшая работа испанского почвоведа В. Кубиены «Микропочвоведение», которая положила начало новой области — микроморфологии почвы. Впервые микроскопическая техника была применена для исследования почвенных частиц, а также пор почвы непосредственно на стенках разрезов почвы. Немало сделали в микроморфологии и советские исследователи, которые в Почвенном институте имени В. В. Докучаева в 40—50-е годы начали микроморфологическое обследование почв нашей страны. Микроморфология при изучении форм гумуса в почвах, а также почвенных глинистых масс позволяет получать такие данные, которые иными способами добыть невозможно. И удалось выяснить немало.

В почвах гумус существует в трех основных формах, каждая из которых образуется по преимуществу одной группой живых организмов.

Грубый гумус волокнистый (мор) состоит из растительных остатков, подвергающихся разложению грибами; органические составляющие почвы здесь не имеют еще прочных связей с глинистыми минералами, деятельность животных и микроорганизмов если и проявляется, то весьма слабо.

Промежуточный тип гумуса (модер) являет собой смесь растительных остатков с частицами, где органические соединения прочно связаны с минеральной частью почвы.

В мягком гумусе (мулле) преобладают глинисто-гумусовые комплексы с прочной связью обеих частей комплекса: образование таких форм гумуса тесно связано с деятельностью микрофлоры и почвенной фауны, которые зачастую действуют настолько взаимосвязанно, что выделить вклад каждого из этих живых компонентов невозможно. Почвенная фауна особенно активна в образова-

нии именно мягкого гумуса. Это отмечали еще в конце прошлого века.

На тончайших шлифах, которые изготавливают после пропитывания почвы специальными фиксаторами, прекрасно видны следы жизнедеятельности животных: поры, ходы, выеденные ими мелкие корешки и разнообразные следы переработки органических остатков, в том числе экскременты животных, которые у каждой группы почвенной фауны четко отличаются по составу не только органических, но и минеральных соединений. Исследования И. Русека в Чехословакии позволили прийти к выводу, что по таким шлифам можно объективно судить о деятельности животных в почве в целом и об относительном вкладе в почвообразование каждой группы не только крупных животных, но и микрофауны.

Под микроскопом на шлифах без труда различаются экскременты основных групп микрофауны: клещей, энхитреид, нематод, ногохвосток. Работы микроморфологов показали, что в некоторых почвах практически весь гумус составляют экскременты микрофауны или продукты дальнейшего разложения этих экскрементов микроорганизмами.

Млекопитающие-землерои

Множество млекопитающих использует почву только в качестве убежища. Здесь же речь пойдет только о тех животных, которые всю жизнь проводят в почве. В фауне СССР к землероям относятся кроты, слепыши, цокоры и слепушонки.

Кроты живут в лесах и лугах, избегая лишь сильно заболоченных участков и районов с высоким уровнем вечной мерзлоты. Различают несколько видов этих насекомоядных. Наиболее широко распространен европейский крот. Питаются кроты в основном почвенными беспозвоночными, особенно дождевыми червями. Иногда до 80 процентов их рациона составляют личинки насекомых, а в Западной Европе пищей им служат еще и трюфели — плодовые тела грибов — аскомицетов.

Кроты роют запутанные подземные лабиринты, причем постоянные ходы располагаются на глубине 10—20 сантиметров, а кормовые — до 10 сантиметров. Нередко, прокладывая кормовой ход, крот движется под самой поверхностью почвы. Эта поверхность и подстилка слу-



жат ему как бы сводом. Кроты выбрасывают на поверхность почву из глубин, поставляя тем самым в корнеобитаемый слой больше солей железа, алюминия и щелочноземельных металлов, чем их дает растительный опад.

В тех лесах, где кротов много, площадь их ходов может составлять до трети всей площади леса, а объем — до 15 процентов 10-сантиметрового поверхностного слоя почвы. Ходы, сделанные кротами, широко используются множеством лесных беспозвоночных, землеройками и всеми мышевидными грызунами.

Крот роет ходы, разгребая впереди себя грунт мощными передними лапами с уплощенными крепкими когтями, при этом немного поворачиваясь вдоль продольной оси тела. Земля порциями отбрасывается назад, а затем зверек головой выталкивает ее на поверхность.

Нередко наблюдается резкое сокращение численности кротов. Это случается, когда уменьшается численность дождевых червей или личинок хрущей (их основной корм) во время длительных засух или суровых малоснежных зим. Особенно губительны для крота сильные морозы после оттепелей, когда вода, затекая в ходы, образует там ледяные пробки, замуровывающие животных в ходах.

Роющая деятельность крота очень важна для формирования почвенного профиля и растительного покрова в южной тайге и смешанных лесах. В Подмосковье выбросы крота охватывают половину всей поверхности почвы, на них появляются всходы древесных пород и мхи.

В лесостепи, степях и пустынях обитают землерои из отряда грызунов. Это слепыши, слепушонки и цокоры. Питаются они сочными корнями растений, в том числе и сельскохозяйственных. Все они прокладывают глубокие ходы, иногда на глубине до одного метра. Цокоры роют землю сильными короткими лапами с долотообразными когтями. Обитают к востоку от Алтая и имеют определенное промысловое значение — используется их шкурка. Слепыши и слепушонки разрыхляют землю выступающими вперед мощными зубами, позади которых губы срастаются и образуют клапан, который не дает земле попадать в рот. Слепыши довольно крупные зверьки — длиной до 35 сантиметров, а слепушонки много меньше (10—13 сантиметров). От них страдают бахчи, огороды, лесопосадки.

В северной части степной зоны и в лесостепи слепыши — обычные обитатели почвы. Они роют кормовые ходы в толще гумусового горизонта, который здесь имеет мощность 50—70 сантиметров, а гнездовые ходы — в подстилающих лесовидных суглинках. Весь гумусовый слой они перекапывают за 250—500 лет. Самка приносит летом двух-четырех детенышей. На участках косимой степи под Курском численность слепышей составляет 97 экземпляров на квадратном километре.

Удивительно разнообразен мир землероев в Африке и Юго-Восточной Азии: чего стоит хотя бы бамбуковая крыса, выедающая в лесах и по берегам рек корни бамбука.

В прериях Северной Америки обитают очень похожие на наших землероев, но относящиеся к другому семейству грызуны гофферы, или мешотчатые крысы (это название они получили из-за больших защечных мешков). Гоффе-

ры создают запасы корма в подземных кладовых, пищу собирают не только в толще почвы (корни и клубни), но и на поверхности. Эти грызуны наносят большой ущерб, поедая корни деревьев, картофель, кукурузу.

Немалое воздействие на почву оказывает другая экологическая группа млекопитающих — норники. К ним относятся животные, делающие в земле норы, чтобы защититься от врагов, запастись кормами и выводить потомство. Но корм они добывают на поверхности. Таковы сурки, суслики, песчанки, хомяки, барсуки, кролики, лисицы, водяные полевки и многие другие. Объем выброшенной ими из нор земли местами бывает очень значителен. Холмики у нор сурков и песцов зачастую определяют специфику ландшафта. Роющая деятельность сусликов, в том числе насыпание холмиков — «сусликовин» — бросается в глаза каждому, кто попадает в сухие степи или полупустыни.

Какие же проблемы приходится решать сегодня почвенным зоологам? Их немало. Прежде всего углубление наших знаний о фауне, численности и сезонной динамике почвенного населения в разных условиях. Для большей части почвенных животных, особенно мелких, неизвестны ареалы распространения, история их формирования. Необходимо выявить точные границы распространения отдельных видов, определить их численность в зависимости от изменяющихся природных условий. По сути дела, пока еще мы не располагаем такими данными ни для одного вида почвенных беспозвоночных, а ведь в СССР таких видов тысячи. Множество видов животных даже не описано — каждый год открывают чуть ли не 100 видов новых почвенных животных.

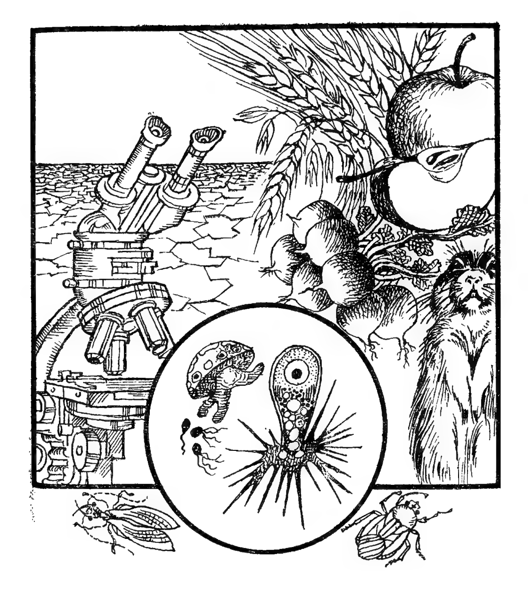
Следует детально изучить экологию хотя бы массовых видов, особенности питания, интенсивность метаболизма, скорость обновления популяций. Не зная этого, так же как не зная биомассы и продуктивности разных групп животных, немыслимо решать практические задачи, которые стоят перед почвенной зоологией. А для практических нужд надо знать, какова роль животных в разложении растительных остатков, поскольку от скорости разложения опада во многом зависит продуктивность естественных угодий.

Многие почвенные животные — опаснейшие вредители сельскохозяйственных растений, которые могут уничтожать или портить значительную часть урожая. Понятно, что с такими животными приходится бороться,

а для этого нужно многое о них знать. Специальное направление работ — заданная перестройка почвенной фауны с целью зоологической мелиорации почвы.

Следует сказать и об общебиологическом интересе к изучению почвенных животных. Почва в процессе исторического развития животных стала той средой, через которую водные формы проникли на сушу. Углубление наших знаний в этой области позволит не только лучше познать пути эволюции тех групп животных, происхождение которых пока недостаточно выяснено, но и воссоздать картину эволюции почв.

Зоологический метод диагностики почв



В «Лекциях по почвоведению» В. В. Докучаев приводит слова специалиста-энтомолога: «Привезите мне разных мух с Кавказа, и я вам скажу, какие там почвы». Сказано кратко, эффектно, а главное — совершенно справедливо: ведь мухи черноземной, таежной и других зон отличаются друг от друга, и связано это в значительной мере с характером почвы.

Зеркало окружающих условий

Именно так называл почву Докучаев! Но поскольку условия всюду на Земле разные, то и почвы отражают весьма несхожие картины. Работы Докучаева и его учеников направлены были в первую очередь на решение конкретной практической задачи — дать оценку земель с точки зрения их пригодности для сельского хозяйства.

Закладывая основы учения о зонах природы, В. В. Докучаев, опираясь на исследования А. М. Энгельгардта, разработал обоснованную концепцию зональной агрономии. И не случайно таежно-лесная область была названа «зоной химизации», черноземная — зоной «физиации» (имеется в виду улучшение структуры, борьба за влагу), а область сероземов — «царством гидрации», то есть поливного земледелия.

Строительство социализма в нашей стране потребовало точной оценки природных богатств и способов их освоения. Необходимо было оценить земельные ресурсы, наметить пути расширения пахотных угодий, наладить производство хлопка на поливных землях в Средней Азии и Закавказье, создать собственное субтропическое земледелие, улучшить снабжение продовольствием населения Нечерноземья. Без разработанной почвенной классификации, без картографии почв осуществить это было бы невозможно.

В годы Великой Отечественной войны в связи с перебазированием народного хозяйства на восток почвенно-картографические материалы использовались для расширения посевов, а на фронте — для составления оперативных карт, позволяющих судить о характере местности и состоянии дорог. А возможна ли была целинная эпопея без знания почвенных ресурсов!

Как же складывалась почвенная диагностика, каков тот фундамент, на котором строилась признанная во всем мире советская картография почв?



Определяя отдельные типы почв, ученые учитывали многие биологические признаки, в первую очередь характер растительного покрова, который формирует эти почвы. В 1886 году Докучаев дал первую в мире генетическую классификацию почв, о которой его ученик, известный почвовед Н. М. Сибирцев, говорил в своей, также ставшей классической работе «Об основаниях генетической классификации почв» (1895 год) следующее: «1) Исходным пунктом ее служит не какое-нибудь прикладное или внешнее свойство почв, а их естественное происхождение, генетическое определение самой почвы как природного тела»; 2) основой классификации «провозглашаются типы и формы почвообразования в смысле определенной комбинации почвообразующих элементов»; 3) «ясно проводится мысль о постоянстве и законности

территориального распределения почв по физико-географическим полосам и районам».

Сибирцев развил идеи своего учителя и довел почвенную классификацию до удобных в практическом использовании форм — компактных таблиц и карт. В 1898 году вышла в свет его «Схематическая почвенная карта Европейской России», на которой были выделены 22 основных типа и группы почв.

Основой для открытия ранее неизвестных почвенных типов долгое время служил докучаевский закон горизонтальной и вертикальной зональности почв. Докучаев точно сформулировал, что следует называть черноземом, поскольку прежде на Руси так называли любые черные, богатые перегноем почвы. В 1883 году он открыл особый тип почв сухих степей и назвал их каштановыми. Работая в Смоленской губернии, откуда сам был родом, Докучаев установил, что под хвойными лесами — еловыми, пихтовыми, сосновыми — существует особый тип почвы: подзолы (слово «подзол» прочно вошло в научную терминологию и используется во всем мире). Промежуточные между подзолами и черноземами серые лесные почвы, на которых произрастают дубравы, нашел Сибирцев. В Средней Азии выдающимся нашим почвоведом С. С. Неуструевым были описаны сероземные почвы, которые при орошении отличаются необычайным плодородием и составляют одно из основных природных богатств республик Средней Азии.

Но едва ли не самым первым объектом научного изучения стали латериты — почвы влажных тропиков. Название это произошло от латинского слова «латер» — кирпич. Латериты действительно напоминают кирпич и по цвету, и по плотности. Но, удивительное дело, в этих чрезвычайно плотных почвах тропических лесов, как показали советско-вьетнамские исследования в тропических лесах Вьетнама, обитает богатая фауна до глубины 30—50 сантиметров. Особенно многочисленны тонкие, как ниточка, дождевые черви и термиты, которые и на большой глубине выдалбливают в почве полости размером с грецкий орех и устраивают в них свои «грибные сады».

Замечательному ботанику А. Н. Краснову, основателю Батумского ботанического сада, мы обязаны расселением в Колхиде цитрусовых, чая, японской айвы, тунга, криптомерии, бамбука и многих других ценнейших растений, которые он вывез из Японии и Китая. Именно Краснов подметил своеобразие субтропических почв, ко-

торым он дал название красноземов. Обратив внимание на сходство красноземов Грузии и Китая, он доказал, что и в нашей стране возможно разведение субтропических культур. Ученик Докучаева, К. Д. Глинка, в будущем президент Международного общества почвоведов, выявил в субтропических районах Закавказья, особенно в Азербайджане, еще один тип почв — желтоземы.

Немало внимания уделяли исследователи и засоленным почвам. Были тщательно описаны внешне похожие на подзолы солоди — почвы с избытком натриевых солей, которые встречаются в лесостепи и степной зоне. И конечно, издавна были известны солончаки, в которых перенасыщены солью и почва, и грунтовые воды. Они пригодны для земледелия только после мелиорации, позволяющей избавиться от части солей.

Академик Н. А. Димо первым провел различие между солончаками и солонцами — особым типом почвы, который характеризуется избытком поглощенного натрия и структурным солонцовым горизонтом, распадающимся на отдельные почвенные «призмы». Обстоятельно исследовал засоленные почвы в нашей стране и за рубежом В. А. Ковда, организатор Института агрохимии и почвоведения Академии наук СССР в Пущине.

А что же почвенные биологи? Каков их вклад? Увы, биология почв подошла к решению вопросов почвенной диагностики с опозданием почти на полстолетия. Удалось это сделать только тогда, когда были накоплены сравнительные данные по биологии различных почв.

Связать воедино почвоведение, биологию почв и сельскохозяйственную практику пытался в 30-е годы академик В. Р. Вильямс. Но его учение о едином почвообразовательном процессе носило в ту пору несколько умозрительный характер, ибо фактов для подобного обобщения было собрано еще недостаточно.

Долгое время господствовало убеждение, что почвенные микроорганизмы космополитичны и условия различных природных зон слабо влияют на микробиологию почвы. Многолетние исследования микрофлоры привели академика Е. Н. Мишустина к важному заключению: «Каждому почвенному типу свойствен характерный микробный пейзаж», поскольку, несмотря на широкое распространение микроорганизмов, существуют все же зоны их оптимального размножения, которые у отдельных видов не совпадают. Так что и микробиологические характеристики могут использоваться для диагностики почв.

Заметим, правда, что этот вывод был сделан только в 1975 году — через столетие после основополагающих работ В. В. Докучаева.

Надо полагать, что биология почв еще скажет свое слово, и возможно, очень веское, в вопросах почвенной диагностики и классификации, когда будут в достаточном количестве собраны сведения о сезонной динамике сообществ почвенных организмов в разных природных условиях, их биомассе, продуктивности, химическом составе, видовой насыщенности, структуре.

Тип почвы и животный мир

Какова же связь почвенной фауны с тем или иным типом почвы? Как изменяется в разных зонах почвообразующая деятельность животных?

Известно, что, прокладывая ходы, они увеличивают количество скважин, делают почву более проницаемой для воды и воздуха, для растущих корней растений. Затаскивая растительные остатки в свои норки и оставляя в ходах экскременты, животные способствуют более глубокому распределению органических остатков, гумуса. Но совершенно ясно, что эта деятельность не может быть одинаковой в тундре и субтропиках, в тайге, в пустынях. На этом следует остановиться подробнее.

Тундра. Арктическая и тундровая зоны тянутся непрерывной широкой полосой по северу нашей страны от Кольского полуострова до Камчатки, спускаясь далеко к югу по Уралу и горам Сибири.

В тундре образуются особые торфяно-глеевые почвы, верхний горизонт которых представлен моховым торфом, а под ним залегает вязкий синеватый глеевый горизонт. Синеватый оттенок вызван тем, что при избыточном увлажнении почв и недостатке кислорода образуется минерал голубоватого цвета (вивианит). Встречаются в тундре и луговые почвы — под злаками и другими цветковыми растениями. Эти почвы прокрашены гумусом, но в нижней части профиля тоже оглеены.

Животный мир тундровых почв чрезвычайно беден. Иначе и быть не может: теплый период здесь короток, так что многие животные не успевают за лето завершить свое развитие, вырастить новое поколение. Другим здесь холодно: они могут вымерзнуть зимой, да и летом почва холодная, не всегда оттаивает, а огромные пространства

заняты вечной мерзлотой. В тундре мало дождевых червей, мало и особей и видов, а за Уралом до Тихого океана в тундровых почвах живет лишь один вид червей — эйсения норденшельди, названный так в честь знаменитого исследователя Севера А. Норденшельда, который во время своих путешествий собирал и почвенных животных. В тундре нет многоножек-кивсяков, нет длинных хищных многоножек — геофилов, нет многого другого. Но те, кто все же приспособился к жизни в условиях короткого северного лета и длинной холодной зимы, могут размножаться в больших количествах. Таковы личинки мух, комаров-долгоножек, мелкие черви — энхитреиды, а на юге тундры — дождевые черви.

Почвенные животные тундры живут около или непосредственно на самой поверхности почвы, в мохово-лишайниковой дернине. Поэтому при их небольшой биомассе порядка 1—10 граммов на квадратный метр и низкой биологической продуктивности тундра привлекает летом многих насекомоядных птиц — корм здесь им очень удобно собирать. Но мало в тундре лишь крупных беспозвоночных. Микрофауна здесь достаточно богата, и численность ее значительна. Это, кстати, относится и к субантарктическим островам, и даже к немногим «оазисам» в Антарктиде. Очевидно, микроорганизмы, особенно их яйца, разносятся вместе с пылью ветрами. Благодаря специальным ловушкам на самолетах удалось обнаружить представителей микрофауны почвы в составе «аэрального планктона» (то есть среди взвешенных в воздухе пылинок) на высоте почти 5 километров.

Из млекопитающих заметное влияние на почву оказывают лемминги и полевки. Эти грызуны прокладывают зимой ходы в моховой дернине и торфяном слое, выедая иногда всю растительность на значительных участках. Относительно меньшее значение имеют песцы, которые делают глубокие норы со многими выходами, чем способствуют более быстрому и глубокому оттаиванию грунта. Экскременты песцов и земля, которую они выбрасывают из нор, сильно изменяют почву и растительность около нор.

Отсутствие многих групп животных, перерабатывающих растительный опад, при крайне низкой численности других почвообразователей приводит к накоплению слоя мертвых растительных остатков и образованию торфа.

Почвенные животные в тундре заселяют почву на очень небольшой глубине. В основном они обживают тон-

кий слой почвы (2—3 сантиметра) и мохово-лишайниковую дернину. Связано это с недостатком тепла и слабым прогреванием почв.

Простота сообществ почвенных организмов и малочисленность среди них хищных животных (вместе с достаточной влажностью почв) создают благоприятные условия для развития множества личинок двукрылых: комаров-звонцов, слепней, мокрецов. Взрослые стадии некоторых из них образуют так называемый гнус — бесчисленное множество кровососов, не дающих летом покоя ни человеку, ни животным.

Сельское хозяйство развивается в тундрах только у южной их окраины. Пахота в этих местах приводит к исчезновению всего комплекса обитателей естественных почв, ибо, как мы уже отмечали, эти животные обитают в подстилке и самом верхнем горизонте почвы, при пахоте подвергающихся наибольшему воздействию. На пахотных землях возрастает численность червей и некоторых личинок насекомых, увеличивается глубина их проникновения в почву (до 40 сантиметров) из-за лучшего дренажа, прогревания и аэрации почв.

Леса умеренного пояса... В лесных почвах животное население особенно многочисленно, хотя даже в пределах умеренного пояса заметно различается в отдельных районах. Обычны здесь дождевые черви, энхитреиды, личинки насекомых, многоножки, мокрицы, разнообразна микрофауна, широко распространены кроты.

Для подзолистых почв северной тайги характерно, что под подстилкой сразу залегает осветленный подзолистый горизонт. Снизу он граничит с горизонтом, в который проникают железо, гумус, илистые частицы.

Дерново-подзолистые почвы встречаются в южной тайге, они очень похожи на подзолистые, но сразу под подстилкой у них образуется гумусовый горизонт мощностью более 5, а нередко и до 15—20 сантиметров.

Южнее, в зоне широколиственных лесов, дерново-подзолистые почвы сменяются серыми лесными, которые отличаются еще большей мощностью гумусового горизонта — от 15 до 40 сантиметров и специфической ореховатой структурой. При движении с севера на юг подзолистый горизонт постепенно исчезает.

Состав почвенного населения лесов зависит от характера гумуса. Там, где гумус мягкий (мулль) и опад быстро разлагается и перемешивается, подстилка незначительна или отсутствует, а гумусовый горизонт достигает за-



метной мощности, отмечается обилие дождевых червей, кивсяков, мокриц, энхитреид и разнообразных личинок насекомых.

Общая биомасса их в буковых лесах Дании достигала на один квадратный метр 70—100 граммов, в СССР в богатых почвах сложных сосняков 52—65, в дубравах лесостепи около 100, а в дубравах Тульской области вес одних лишь дождевых червей достигает 81 грамма. В таких почвах обильна и микрофауна, хотя по массе заметно уступает мезофауне.

Иначе обстоит дело в лесах с грубым гумусом (мором), где на поверхности долгое время сохраняется мощный слой подстилки. Такие почвы населены по преимуществу мелкими организмами, особенно микроартроподами, энхитреидами, а из мезофауны — личинками двукры-

лых, дождевыми червями, кивсяками. Две последние группы, как и личинки жуков, в почвах с грубым гумусом представлены слабо.

Общий уровень биомассы животных в почвах с грубым гумусом невысок, хотя численность микроорганизмов значительна (микроартропод может приходиться до 1 миллиона на квадратный метр). В Бельгии биомасса беспозвоночных в грубогумусных почвах едва достигает 30 граммов на квадратный метр против 100 граммов в почве с мягким гумусом. В нашей стране биомассу животных в почвах северных хвойных лесов, где грубогумусные почвы обычны, оценивают в 20 граммов, в лесах северной тайги Карелии — не более 10 граммов, в средней тайге Якутии — 15—20 граммов на квадратный метр. Правда, здесь встречается множество личинок мух в подстилке, численность которых в лиственничниках Якутии достигает 100—800 экземпляров, а биомасса — 2—6 граммов на квадратный метр.

Многолетние исследования Г. Ф. Курчевой в дубравах Центрально-Черноземного заповедника в Курской области показали, что благодаря беспозвоночным лесная подстилка разлагается в 4—6 раз быстрее, чем при участии одних лишь микробов. А в Подмосковье только дождевые черви ускоряют разложение в 1,5—3 раза.

Велика роль животных в разложении гниющей древесины. Колоды сначала осваивают древоточцы, а на последних стадиях разложения дерева в нем поселяются обычные почвенные обитатели — кивсяки, дождевые черви, хищные жуки и многоножки.

Интересно, что в лесах палеозоя на поверхности почв скапливалось огромное количество мертвой органики слоем 15—40 сантиметров. Может быть, это происходило потому, что тогда не было еще многих животных — разрушителей этого опада? Не по той ли же причине скапливались мертвые деревья, образуя толщи угля.

Скорость разложения опада зависит от погодных условий, состава населения беспозвоночных. А вкусы животных не совпадают. Так, кивсяки и мокрицы охотнее питаются листьями ясеня и ольхи, а не дуба и бука, а дождевые черви предпочитают листья бузины и лещины листьям дуба и клена. Почти все виды мезофауны не едят опад хвойных пород, но его охотно потребляют панцирные клещи, которые, выедая хвоинки изнутри, увеличивают поверхность опада в 10 тысяч раз, делая его более доступным для разложения микроорганизмами. Высказа-

но даже предложение искусственно расселять орибатид в местах, где разложение подстилки замедлено.

Труднее точно определить роль в трансформации органического вещества многих более мелких групп микроартропод и нематод, которые зачастую питаются не самими мертвыми растительными веществами, а разлагающими их грибами. Но их значение, несомненно, велико, поскольку численность этих животных высока, а интенсивность метаболизма больше, чем у крупных форм.

Иногда даже говорят о ведущей роли микрофауны в разложении подстилки. По расчетам венгерского зоолога Я. Балога, мелкие членистоногие при весе 1,1 грамма за один и тот же срок потребили бы в 40 раз больше пищи, чем мезофауна в 6 граммов.

Как же меняется состав населения почвенных животных в разных лесах?

В тайге на подзолах и дерново-подзолистых почвах животные встречаются в самом верхнем слое почв и в подстилке практически не глубже 10 сантиметров. Поэтому в Финляндии был предложен простой и эффективный метод учета почвенных животных с помощью больших воронок-термоэклекторов, куда помещают на сетку слой почвы 0—5 сантиметров и обогревают его сверху электрической лампочкой. Животные уходят от нагрева вниз, под сетку, и попадают в ловушку. Такой метод очень прост, удобен, но пригоден для работы только с маломощными почвами, особенно с подзолами: более толстый слой почвы и в лабораторию переносить неудобно, да и животные не успевают из него выбираться, погибая в почве от перегрева.

Биомасса животных у северной границы тайги составляет 10—20 граммов на квадратный метр, а у южной — вдвое выше. По мере продвижения к югу с увеличением мощности гумусового слоя возрастает численность почвенных животных, их разнообразие, они проникают на все большую глубину. В еловых лесах около Москвы большинство животных обитает на глубине 15—20 сантиметров. Только зимой черви, клещи и ногохвостки спускаются глубже, стараясь не попадать в промерзший слой почвы. В особенно холодные зимы, когда морозы схватывают не успевшую накрыться снежным покровом землю, случается массовая гибель от вымерзания многих почвенных животных: дождевых червей, энхитреид, личинок насекомых, многоножек и даже микрофауны.

Зимнее промерзание почв влияет на распределение

почвенных животных. Например, в лесах Подмосковья можно встретить животных, которые обычны для более южных районов, для серых лесных почв. Оказалось, что они заселяют участки нередко площадью всего в несколько квадратных метров, которые зимой почему-то не промерзают или же промерзают только на самой поверхности и на короткое время. Другой пример. В лесах европейской лесостепи много серых кивсяков, которые хорошо перерабатывают лесной опад. А за Уралом их нет. Родилась идея расселить кивсяков и в Зауралье, тем более что уже был опыт расселения других животных. И что же? Кивсяки прекрасно чувствовали себя в березовых колках, но в первую же зиму полностью вымерзли. Не учли, оказывается, того, что за Уралом уже сибирский климат и почвы промерзают там сильнее, глубже и надолго.

Наиболее обильна почвенная фауна в почвах под широколиственными лесами — серых лесных, буроземах, черноземах. Здесь животные обитают на глубине до 1 метра, а микроорганизмы — до 2 метров. Столь же богата и еще более разнообразна почвенная фауна в широколиственных лесах субтропиков на желтоземах и красноземах. Здесь животные проникают на глубину до 40—50 сантиметров, так как дальше идут тяжелые переувлажненные глины.

Животные здесь активны почти круглый год, а не шесть месяцев, как в серых лесных почвах. Многие за год дают не одну генерацию. И вот результат: во влажных субтропиках под Ленкоранью мокрицы и кивсяки полностью перерабатывают лесную подстилку за несколько месяцев, экскременты этих животных нередко лежат сплошным слоем. Пожалуй, нигде в мире так ярко и наглядно не проявляется роль животных в разложении растительного опада.

Степь. Нынче мало что осталось в Европе от некогда бескрайних ковыльных и разнотравных степей. Участки с естественной растительностью сохранились лишь в заповедниках, на пастбищах и в местах, неудобных для распашки. В последние годы резко сократилась территория неосвоенных степей и в азиатской части СССР, особенно после массового освоения целинных земель.

Почвы степей представлены черноземами, южнее черноземов идут каштановые почвы. Для последних характерны более бурая окраска гумусового горизонта, каштановый цвет слоя, залегающего под гумусовым, кристаллы

гипса на глубине 100 сантиметров и глужбе. В степи, по сравнению с лесом, численность животных в почве явно ниже, а биомасса меньше в три раза. Заметно отличается и состав населения, так как в степи меньше обитателей подстилки, меньше форм, питающихся гниющими растительными остатками. В то же время в степи больше фитофагов (личинок хрущей, щелкунов, чернотелок), а из позвоночных — корнеедов. В отдельные годы биомасса одних лишь личинок хрущей может достигать 10 граммов на квадратный метр. Общая биомасса почвенных животных равна 20—30 граммам, причем 20—50 процентов приходится на долю дождевых червей, 15—25 процентов — на личинок хрущей; много также личинок насекомых, кивсяков, губоногих многоножек и т. д.

Особенно заметна деятельность землероев, которая откладывает отпечаток на всю жизнь степи. Холмики земли, выброшенной сурками, слепышами и слепушонками на полях, бахчах, пастбищах, столь же характерны для естественного степного ландшафта, как и его растительность.

В разложении подстилки в степи активно участвуют животные напочвенного яруса. Еще в прошлом веке заметили, что табуны диких лошадей копытами разбивали степной «войлок», обеспечивая его минерализацию и создавая условия для жизни новых растений. В отсутствие копытных ту же роль выполняют грызуны, а там, где и их мало, — насекомые.

Разведение лесов в степях изменило в ряде мест состав почвенной фауны. В лесополосах можно встретить, например, немало влаголюбивых животных. Численность кивсяков в лесопосадках составляет 150—250 экземпляров на квадратный метр, а вес экскрементов за сезон на одном гектаре достигает 700 килограммов. Кивсяки в лесополосах активно участвуют в разложении подстилки, поэтому предлагают их как можно шире расселять при степном лесоразведении.

В степях особенно заметна почвообразующая деятельность муравьев. Еще в начале текущего столетия Н. А. Димо и другие почвоведы заметили, что муравьи выносят глинистые материалы из глубин земли на поверхность и это существенно изменяет химические свойства лежащих выше горизонтов. Для европейских степей типичны муравейники с земляными конусами. На одном гектаре их объем достигает 26 кубометров.

В степях Нижней Волги муравьи, устраивающие жи-

лье в почве, только за один день после сильного дождя выносят на поверхность 1122 килограмма почвы на гектар. Но и этим их роль не ограничивается. С того же гектара они растаскивают в среднем 50 килограммов зерна, что равно половине посевного материала!

В Онон-Аргунских степях Забайкалья на одном гектаре встречается 5—11 гнезд муравья формика пицеа с 500—5000 насекомых в каждом гнезде. Муравьи здесь роют ходы до уровня грунтовых вод. Вынося материал из глубоких горизонтов, богатых кальцием, они обогащают этим элементом, интенсивно вымываемым из верхних слоев, корни растений. Непосредственно под муравейниками усиливаются процессы рассоления (на солончаках). В степях юга Сибири муравьи активно участвуют в перемешивании почвы, и масштабы их деятельности столь значительны, что в три раза превосходят снос почвенных частиц водой и ветром.

Пустыни. Первое, что бросается в глаза при изучении почвенной фауны в пустынях, — малочисленность животных. Нередко в яме объемом в один кубометр не встретишь ни одного экземпляра мезофауны. В пустынях совершенно нет дождевых червей (они встречаются здесь только на поливных землях и в поймах рек), кивсяков, мокриц подстилочного комплекса и многих других привычных почвенных животных. Зато здесь часто встречаются эмбии, скорпионы, пустынные мокрицы, термиты, слепозмейки, крупные геофилиды, сколопендры.

Беспозвоночные обитают исключительно в толще почвы, в ее глубоких горизонтах, где сохраняется высокая влажность воздуха и не так сильны колебания температуры. Лишь немногие животные способны в дневную жару сохранять активность на поверхности земли, большинство же поверхностных обитателей активны ночью, а днем прячутся в норках, под камнями, в трещинах почвы. Среди обитателей почвенного яруса особенно заметна деятельность мокриц и термитов.

Пустынные мокрицы, по данным Н. А. Димо, заселяют сероземы и другие плотные почвы пустынь в больших количествах. Нередко число их норок на одном квадратном метре доходит до 60—70, а самих мокриц — вдвое больше (в каждой норке живут две особи). Вес экскрементов и почвы, выброшенных при рытье норок, достигает внушительной цифры — 5800 граммов на квадратный метр. А если учесть, что по химическим свойствам слои почвы сильно отличаются от поверхностных (в частности, это

относится к количеству солей кальция), то влияние роющей деятельности мокриц на почвообразование становится очевидным.

Мокрицы заселяют только гипсированные плотные сухие почвы, они не выносят ни орошения, ни ветра, развевающего поверхностный горизонт, так что по ним безошибочно можно судить о составе и характере почв.

Мокрицы закупоривают отверстие норки своим телом, предотвращая высыхание (в глубине норки относительная влажность около 100 процентов, в то время как на поверхности — 15—20 процентов). Вся организация этих рачков приспособлена к экономии воды и к постоянному смачиванию жабр: множество бугорков и желобков на теле расположено так, что направляют к жабрам любую капельку воды. Влагу, полученную из пищи, мокрицы нередко выбрызгивают на жабры из анального отверстия.

Один из видов пустынных мокриц является вредителем, от которого страдают всходы многих сельскохозяйственных растений.

Как уже говорилось, почвообразователем в теплых, но не злостно иссушенных пустынях являются и термиты. Но они играют еще исключительно важную роль в формировании вторичной продукции биогеоценоза, поскольку служат кормом для множества других животных. В южной Туркмении, например, во время массового вылета термитов ими питаются все мелкие птицы, все хищные беспозвоночные, рептилии и даже лисицы и собаки. Весной всегда можно найти остатки термитов там, где кормились ночью скорпионы, фаланги, сколопендры и другие хищники из мира беспозвоночных.

На поливных землях пустынь роль почвообразователей берут на себя дождевые черви; большое значение приобретают и почвенные простейшие.

Еще в начале века С. С. Неуструев и Н. А. Димо указывали на роль дождевых червей в почвообразовании пустынь. Особенно благоприятные условия складываются для червей в поливных землях сероземного типа, где их численность может достигать 512 экземпляров на квадратный метр, а за год они выносят на поверхность 15—20 тонн земли на гектар, или 2 процента почвы. В Судане на землях, орошаемых водой Нила, черви за год выносят 26,7 тонны почвы на гектар.

Внесение в почвы сероземной зоны больших количеств минеральных удобрений и ежегодное попадание дефолиантов (на полях хлопчатника) снижают численность чер-

вей в десятки раз. Как следствие — уменьшается скважность почвы и на глубине нескольких десятков сантиметров создаются анаэробные условия. Это, в свою очередь, снижает биологическую активность почв, резко замедляется разложение органики, распространяются грибковые заболевания растений.

Изучая распределение почвенных животных по зонам и давая характеристику почвам в зависимости от населяющих их животных, приходится считаться еще с двумя обстоятельствами.

На одно из них обратил внимание известный энтомолог профессор Г. Я. Бей-Биенко. Оказалось, что, продвигаясь с юга на север, почвенные животные меняют свои пристрастия к почвам. На юге личинки широко распространенных насекомых заселяют влажные почвы тяжелого механического состава, а к северу они все более и более тяготеют к легким, хорошо прогреваемым субстратам.

Второе обстоятельство связано с изменением глубины обитания почвенных животных: те виды, которые на юге прячутся в глубоких горизонтах, по мере продвижения на север перемещаются ближе к поверхности, а у крайней северной границы распространения они живут в самом нижнем слое или в подстилке.

Каждая природная зона, таким образом, характеризуется своим комплексом почвенных беспозвоночных, многие из которых являются сами активными почвообразователями и определяют характер почвенного профиля. Приспособленность многих почвообитающих животных к определенному режиму дает возможность более полно судить о свойствах и особенностях среды обитания.

Зоологическая диагностика почв

В нашей стране на основе почти 25-летних полевых исследований М. С. Гиляровым был разработан способ, позволяющий определить характер почв. Он детально был обоснован в его книге «Зоологический метод диагностики почв» (1965), удостоенной Государственной премии.

Предназначенный, казалось бы, для специальных сугубо зоолого-почвенных целей метод нашел применение при решении биогеографических и более общих, экологических задач. С его помощью была разрешена загадка происхождения таких образующихся на известняках почв, как красноцветные на Южном берегу Крыма.

О природе этих почв ученые спорили. Одни утверждали, что они лишь разновидность лесных буроземов, другие доказывали, что это обнаженные — после того, как оказались смыты позднейшие наслоения, — ископаемые третичные почвы, некоторые же считали, что это образующиеся в настоящее время почвы, такие же, как «красные земли» в Италии, типичные для берегов Средиземного моря.

Изучение почвенной фауны дало ответ на поставленный вопрос. Оно показало, что именно на красных почвах на известняках Южного берега Крыма основную массу видов почвенных животных (более 90 процентов) составляют беспозвоночные, которые распространены в Средиземноморье, причем известняки Южного берега Крыма для многих самые северные точки их распространения. Там же, на соседних участках, но с другими почвами, средиземноморских видов гораздо меньше, встречаются они редко, и количество их невелико. Следовательно, на самых прогреваемых участках известняков Южного берега Крыма сейчас микроклимат такой же, как и у берегов севера Африки или юга Италии, иными словами, почва средиземноморского типа может там образовываться и ныне.

Изучение почвенных животных безлесных горных вершин северо-западного Кавказа и крымской Яйлы позволило не только установить тип их почв (горные черноземы), но и судить об истории горных степей этого района. Стало ясно, что степная почвенная фауна, как и весь растительный и животный мир безлесных горных вершин, — наследники прежде существовавших здесь довольно сухолюбивых видов степного типа и средиземноморского происхождения, и появились они тут вовсе не потому, что в результате деятельности человека исчезли леса.

Таким же образом, с учетом физических и химических показателей, были определены темно-серые лесные почвы овражных лесов Левобережья Украины.

Существует четкая зависимость между типом почвы и естественным растительным покровом. Они сохранились в первозданном виде, если их не затронула хозяйственная деятельность человека. Если же почву используют в хозяйственных целях, то эта взаимосвязь, безусловно, нарушается.

В зоологическом методе диагностики почв особое место принадлежит крупным беспозвоночным. Они один из самых точных и ценных индикаторов. Поскольку эти живот-

ные малоподвижны, ареал их распространения ограничен и целиком зависит от окружающей их среды. Наличие тех или иных видов, их количество, плотность популяций — все это помогает определить свойства почвы, составить ее характеристику.

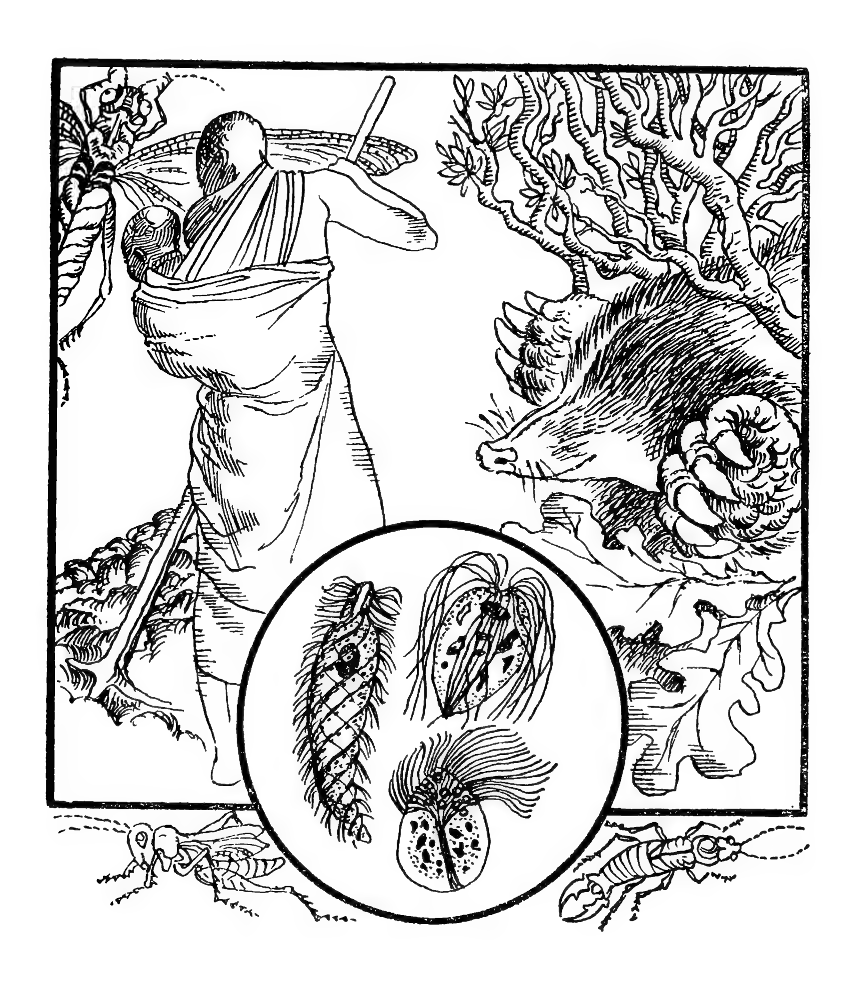
Применяя зоологический метод диагностики почв, исходят из следующих предпосылок. Каждый вид в пределах области своего распространения встречается только там, где природные условия отвечают его физиологическим требованиям. Его жизнедеятельность зависит от таких факторов, как температура, влажность, содержание солей, структура почвы и т. д. Сумма этих условий жизни и составляет общую характеристику, которую ученые называют экологическим стандартом вида. Чем он уже, тем выше его ценность как индикатора. А чем шире амплитуда колебаний каждого экологического фактора, гарантирующего существование вида, тем хуже такой вид выполняет эту роль, поскольку он не «привязан» строго к какому-нибудь одному типу почв и, как правило, распространен более широко.

В большинстве случаев виды в центре той области, где они обитают, более многочисленны и обычно заселяют более разнообразные места, чем на периферии, а у границ ареала вид встречается редко — только там, где микроклимат близок к средним климатическим условиям области массового распространения вида. К таким условиям относится, наряду с прочими, гидро- и терморежим почвы, к которому почвенные беспозвоночные очень чувствительны. Как правило, почвенные животные на равнинах европейской части СССР, в центре этого ареала, умеренно влаголюбивы, у северных границ — сухолюбивы, а у южных границ, наоборот, влаголюбивы.

Например, личинка июньского хруща встречается в лесостепной полосе в различных почвах. На севере (в лесной зоне) она предпочитает склоны, обращенные на юг, где песчаные или известняковые почвы, а на юге (в сухой степи) — склоны, обращенные на север, с тяжелыми почвами, а также берега рек. Не случайно К. Линней называл некоторые широко распространенные в Скандинавии виды «песчаными». В Скандинавии они действительно встречаются на песках.

Почвенно-экологический метод дает возможность заметить, в каком направлении идет почвообразование, еще на той стадии, когда с помощью инструментальных и химических методов сделать это невозможно.

Зоологическая мелиорация почв



Сто лет назад Ч. Дарвин, как известно, крайне осторожный в выводах и не склонный к преувеличениям, решительно утверждал, что «плуг принадлежит к числу древнейших и имеющих наибольшее значение изобретений человека; но еще задолго до его изобретения почва правильно обрабатывалась червями и всегда будет обрабатываться ими».

Разрыхляя и перемешивая слои почвы, черви действительно выполняют ту же работу, что и плуг, вспахивающий землю, но этим их миссия не исчерпывается. Внося в почву растительные остатки, они тем самым углубляют обогащенный гумусом плодородный слой. Благодаря вертикальным ходам усиливается водопроницаемость, аэрация, улучшаются условия для прорастания корней растений.

Деятельность дождевых червей влияет и на структуру почвы, что крайне важно для улучшения ее агрономических свойств, — при мелкозернистой структуре растения легче усваивают минеральные вещества.

Структурные отдельности почвы, образующиеся, когда через кишечник червей проходят растительные остатки и минеральные частицы, отличаются высокой прочностью, устойчивостью к размыванию. В пищеварительном тракте червей непереваренные остатки пищи перемешиваются с минеральными частицами, склеиваются слизистыми выделениями стенок кишечника, сильно спрессовываются при перистальтических сокращениях его мышц и выбрасываются в виде так называемых копролитов («каменных экскрементов»).

В кишечниках дождевых червей, кроме того, накапливаются минеральные вещества в доступной для растений растворимой форме. Многие почвенные минералы, проходя через кишечник червей, разрушаются (например, из песчинок базальта высвобождаются калий и магний), так что в копролитах бывает больше растворимых фосфора, калия, магния, чем в окружающей почве. К тому же экскременты червей обогащаются аммиаком, продуцируемым стенками кишечника, а проделанные червями ходы — аммиаком, выделяемым со слизью с поверхности тела.

Количество и масса копролитов, ежегодно образуемых в природных условиях дождевыми червями, огромно. Еще Дарвин насчитывал до 40 тонн (сухой массы) на 1 гек-

тар на пастбищах в Англии (позже, в 1955 году, по современным подсчетам, У. Гилд назвал для Англии цифру 25 тонн). Под Москвой на поле многолетних трав на дерново-среднеподзолистой почве (180 червей на 1 квадратный метр) образуется 53 тонны копролитов в год. Для территории ФРГ — 5—7,5 тонны в год, для Швейцарии — 75—100 тонн на гектар. Н. А. Димо в 1938 году отмечал, что в Средней Азии на поливных землях при численности червей более 150 на 1 квадратный метр выбрасывается до 20 тонн копролитов на поверхность почвы при общей продукции копролитов (большая часть остается в почве) более 120 тонн на гектар.

Дождевые черви во многих случаях активно вовлекают растительный опад в глубь почвы, либо непосредственно, либо после переработки опада другими группами почвенных и подстилочных беспозвоночных.

Опыты Т. С. Перель и Л. О. Карпачевского в Подмосковье показали, что, если в лесу прекратится доступ дождевых червей к опаду, разложение листьев будет происходить в два-три раза медленней.

Г. Н. Высоцкий обнаружил, что по ходам дождевых червей легче проникают вглубь корни саженцев деревьев, что особенно важно в тех случаях, когда лесные породы разводят в засушливых районах.

В 1890 году Е. Вольни многочисленными опытами доказал, что в присутствии дождевых червей урожайность различных культурных растений и древесных пород значительно повышается. Причем это результат именно их деятельности, а не только того, что в их телах содержатся элементы минерального питания растений, высвобождающиеся после гибели, как считали другие ученые.

Расселение дождевых червей

Огромная роль червей в поддержании почвенного плодородия делает их желанными поселенцами, особенно в лесах, садах, на пастбищах и сенокосах, где почва не подвергается ежегодной обработке.

Бывают случаи, когда, часто по историческим причинам, дождевых червей на том или ином участке нет и их желательно туда завезти. Самостоятельно дождевые черви мигрируют очень медленно: обычно за год они преодолевают расстояние всего в несколько метров. Расселение происходит в основном пассивно: их смывает вода, а яйце-

вые коконы, пристающие с влажной почвой к ногам, переносят птицы, копытные и другие животные. Но наибольшую роль здесь может сыграть человек.

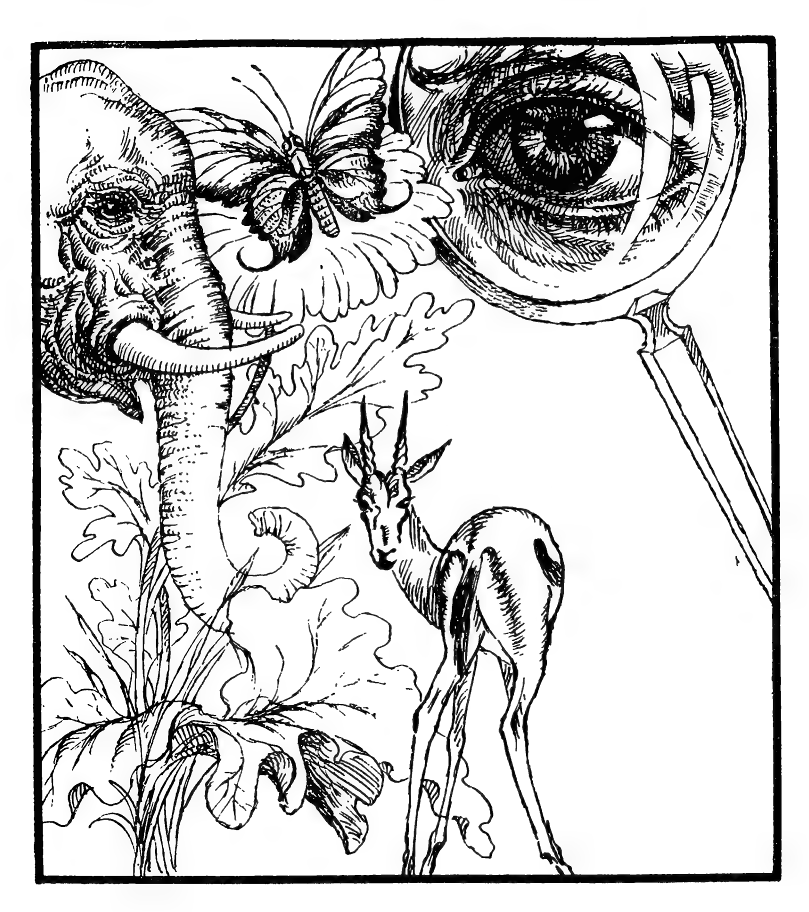
Многие века это, правда, происходило стихийно. В эпоху парусного флота черви расселялись по всему земному шару, путешествуя вместе с посадочным материалом, сельскохозяйственными машинами и с балластом из земли на судах, шедших за «колониальными» товарами из Европы в заморские и заокеанские владения. Такие виды дождевых червей, легко следующие за человеком и способные обитать в почвах разного типа, называют перегринными. К типично перегринным видам относится, например, «пашенный червь», распространившийся в Северной и Южной Америке, в Тропической и Южной Африке, в Австралии и Новой Зеландии.

Обретая новую родину, этот червь (как и ряд других европейских перегринных видов) не только распространялся на обрабатываемых землях, но и проникал на не освоенные человеком участки, вытесняя местные виды.

В Канаде в подзолистых почвах под лесами из местных древесных пород на территориях, подвергавшихся оледенению, дождевых червей нет. Канадский почвовед К. Ленгмейд в 1961—1962 годах провел наблюдения в таких лесах в штате Нью-Брунсвик, где в 1958 году дождевых червей не было, и обнаружил пять мест, куда они все же проникли. Вторжение дождевых червей привело к быстрому разложению подстилки, к изменению окраски верхней части богатого железом подзолистого горизонта. Слабый аккумулятивный горизонт почвы, подстилка и верхние 5 сантиметров подзолистого горизонта за короткое время превратились в однородный темно-серый слой.

Это наглядный пример того, как быстро меняется почва под воздействием дождевых червей даже при неблагоприятной для них кислотности почвы. Кстати сказать, это были не американские, а европейские виды червей, которые благополучно освоили не только сельскохозяйственные угодья, но и территории естественных лесов.

В некоторых случаях происходит случайная акклиматизация завезенных видов, гораздо менее способных к широкому расселению в данной местности. Так, в Аскании-Нова в почвах целинных степей встречается только никодриллус розеус, причем численность его небольшая. Известен организованный в заповеднике еще в прошлом



веке дендрологический парк, в котором собрано довольно много экзотических видов деревьев, выращиваемых и поддерживаемых при постоянном поливе. В парке широко расселился и размножился западноевропейский вид аллобофра хлоротика, завезенный, вероятно, с посадочным материалом и концентрирующийся у влажных берегов арыков, где достигает численности 60—100 особей на квадратный метр.

Интродукция дождевых червей в СССР

Нередко случается так, что дождевыми червями надо заселить территории, где обитание определенных видов вполне возможно, но в силу исторических причин они

там отсутствуют. Опыт такой интродукции накоплен как в нашей, так и в зарубежной практике.

В 30-е годы А. А. Бродский и Н. А. Димо установили, что в Средней Азии в светлых сероземах на целинных и богарных землях дождевых червей нет. На поливных же землях в незасоленных почвах этого типа численность дождевых червей достигает в среднем, по данным этих авторов, 100—150 особей на квадратный метр. В 60-е годы Б. Валиахмедов и Т. С. Перель сходные данные получили для Таджикистана.

Интересно, что на поливные земли в Средней Азии проникли не эндемичные виды, свойственные хребтам, откуда текут реки, питающие оросительную сеть (эндемичных видов в Средней Азии известно теперь около 15), а менее требовательные перегринные виды.

Расселение червей путем случайного заноса иногда происходит быстро, но может протекать и очень медленно; особенно маловероятно попадание червей на изолированные участки с подходящими для них условиями, значительно удаленные от ареалов ближайших популяций. Поэтому, когда осваиваются новые территории, на которых еще нет способных существовать в изменившихся условиях видов дождевых червей, целесообразно проводить их интродукцию.

Такую зоологическую мелиорацию почв стали осуществлять в последние десятилетия и у нас, и за рубежом.

При обычном поливе дождевые черви, которые встречаются и на берегах рек в местах отвода от них оросительных каналов (арыков), попадают на территорию полей с поливными водами.

В последние десятилетия в Узбекистане создаются оазисы с артезианским орошением в пустынных, неосвоенных районах, на сотни километров удаленных от реки и орошаемых речными водами земель. В таких оазисах, создаваемых, в частности, для выращивания люцерны для подкормки овец близ устраиваемых для них водоемов, органические остатки (листья люцерны и навоз) разлагаются медленно. Наблюдения показали, что навоз не разлагается в течение 4 лет!

Опыт интродукции дождевых червей осуществлен в 1963 году. В несколько оазисов — на Кызылкумскую опытную станцию, на скважину № 18 (поселок Артезианский), в оазис близ Мубарека (Бухарская область) — выпустили смешанные популяции разных видов дождевых

червей, собранных на Зеравшанском хребте, на влажных, поросших кустарником склонах, изрезанных сетью ручьев.

Проверка 1965 года показала, что лучше всего прижились два вида, наиболее перспективных для интродукции в этих условиях. На некоторых участках, куда были выпущены черви, их численность за три года достигла 160 экземпляров на 1 квадратный метр, причем некоторые особи оказались в 30 метрах от того места, где их выпустили на поле. Интересно, что один из них случайно акклиматизировался и в изолированном оазисе Тазерук в Сахаре. При наших опытах в ямы площадью 1 квадратный метр и глубиной около метра выпускали по 200—500 червей. Проверка в 1975 году показала, что черви освоили значительную часть орошенной территории и активно перерабатывают растительный опад.

Сходная работа была проведена и при освоении вновь орошаемых земель по трассе Каракумского канала. В совхозе «Теджен» А. Ягдыев с сотрудниками нашли, что выпущенные там черви за год расселились по каналу на 30 метров. Выпущенные весной в ямы площадью в 1 квадратный метр (по 300—500 экземпляров на яму) на орошаемых виноградниках с глинистой почвой и на люцерновом поле вблизи поселка Хауз-Хан, в лесном питомнике и в плодовом питомнике черви через год тоже расползлись на расстояние до 30 метров. В этом случае для интродукции были взяты наиболее пластичные перегринные виды дождевых червей, способные выжить и размножаться на поливных землях в сравнительно трудных для представителей этого семейства жарких условиях.

Еще один пример успешной интродукции дождевых червей — работа, выполненная Т. С. Перель в лесопосадках Джаныбекского стационара (Уральская область). В посадки 1950 года, состоящие из дуба и вяза, в 1966 году из Салтовского леса (Саратовская область), из поймы реки Еруслана было привезено и выпущено около 800 особей эйсения норденшельди и уралензис и небольшое количество особей никедрилюс розеус и дендробена октаэдра. Проверка показала, что через восемь лет (в 1974 году) первый вид расселился на всей площади полосы, занятой посадками дуба, при средней плотности популяции около 20 экземпляров на квадратный метр. Единично встречался и вид дендробена октаэдра, что свидетельствует о возможности его выживания в условиях сухого

континентального климата — в сухой степи и полупустыне, в лесополосах.

Существование же червей в лесополосах обусловлено тем, что в этих суровых условиях зимой накапливается задерживаемый деревьями снег. А практическое значение акклиматизации червей в этом случае состоит в том, чтобы обеспечить вовлечение в почву опада и тем стабилизировать круговорот веществ под лесопосадками и создать предпосылки к образованию прочной зернистой структуры почвы.

Изредка встречавшийся в более старых посадках в Джаныбеке вид никодрилюс розеус, питающийся в толще почвы перегноем (в отличие от пигментированных червей эйсения норденшельди и других, питающихся и подстилкой), не может способствовать стабилизации круговорота веществ под лесопосадками в степи.

Интродукция дождевых червей успешно проведена в садах возле Алма-Аты. Они расположены на довольно крутых склонах и подвержены эрозии. Деятельность тех видов дождевых червей, которые встречаются в почвах этих садов и не проделывают глубоких вертикальных постоянных ходов, менее эффективна в противоэрозионном отношении, чем деятельность червей-норников, которые делают такие глубокие ходы, как и люмбрикус террестрис.

В Джунгарском Алатау под пологом плодово-еловых лесов Н. К. Белоусова обнаружила крупных червей, принадлежащих к новому виду — светловия джунгарика, проделывающих глубокие вертикальные ходы. Этих червей весной 1967 года завезли в яблоневые сады Заилийского Алатау, расположенные на высоте 1300—1350 метров. Их выпустили в разных местах по пять экземпляров в небольшую ямку; ямки располагались группами по пять. При проверке в 1973 году оказалось, что черви прижились, стали питаться опадом культурной яблони, размножаться и расселились на расстояние 10—15 метров вниз по склону, но всего на 5 метров в стороны. По-видимому, расселение видов, делающих глубокие норы, происходит медленнее, чем других видов.

Во всяком случае, все три опыта (искусственное заселение никодрилюс салигинозус, никодрилюс розеус пашади поливных участков, где прежде не было червей, для ускорения разложения растительных остатков, заселение эйсения норденшельди лесополос в сухостепной

зоне для ускорения разложения и вовлечения в глубь подстилки и светловия джунгарика — для создания глубоких ходов против эрозии) дали обнадеживающие результаты.

Интродукция дождевых червей за рубежом

В Нидерландах на необрабатываемых луговых землях повсюду высокая плотность популяции дождевых червей, поддерживающих зернистую структуру почв. Однако в тех местностях, которые в провинции Зееланд в 1944 и 1953 годах подверглись длительному (около 6 месяцев) затоплению, черви вымерли, и разложение остатков травы на лугах сильно затормозилось — на поверхности почвы образовался плотный слой так называемого «растительного войлока». Нет червей, и задерживается разложение травы на недавно отвоеванных у моря польдерах. Так, в Нордоост-польдере, который начали культивировать с 1947 года, в 1963 году еще не было червей, и на поверхности почвы, засеянной травами, образовался типичный грубоволокнистый войлок.

Опыты, проведенные в Валхерене, показали, что при внесении на луговины разных видов дождевых червей прижился только никодрилюс салигинозус, и в том месте, где выпустили 400 особей этого вида, войлок стал быстро разрушаться.

На семилетнем пастбище на опытной ферме в Ловинкхэве (Нордоост-польдер), где дождевые черви (в основном никодрилюс салигинозус) прижились и достигли численности 280 экземпляров при биомассе 175 граммов на квадратный метр, стала формироваться зернистая «муллевая» почва.

На новых польдерах в Зюйдерзее, в разбитом там яблоневом саду с задерненными междурядьями, в 1966—1967 годах на площадки по 10 квадратных метров было внесено 5400 и 4600 особей того же вида. К ноябрю 1967 года уже отмечалась разница в агрегатном составе почвы в местах с червями и без червей. Если в контроле прочные агрегаты составляли только 30,6—40,8 процента, то на площадках с 4600 червями содержание таких агрегатов достигало 60 процентов, а на получивших большее число червей — 66. К апрелю 1968 года популяция выпущенных червей (4664 экземпляра) в польдере Восточного Флеволанда возросла до 384 740, средняя скорость роста достигла 15 процентов в месяц. Черви этого вида

довольно быстро расползаются, проделывая за год горизонтальные миграции в среднем на шесть метров, тогда как другой переселенный вид, аллобафра хлоротика, за год уходил не более чем на четыре метра, причем только около 20 процентов популяции уходило из мест выпуска, и прирост популяции шел медленнее — 10 процентов в месяц.

Естественный процесс расселения червей — медленный, что и заставило голландцев позаботиться о том, чтобы внести в почву этих важнейших почвообразователей.

Большое значение имеет зоологическая мелиорация осваиваемых отвалов и оголенных территорий, образующихся после добычи полезных ископаемых. Так, например, в ГДР на отвалах после добычи бурого угля высаживают ольху, тополя, белую акацию. Деревья растут очень быстро, и уже на четвертый-пятый год после посадки накапливается около трех тонн подстилки в пересчете на гектар.

Через десять лет после окончания открытой добычи бурого угля из плейстоценово-голоценовых отложений оголенные площади быстро зарастают, и так как периметр этих площадей велик, на них быстро проникают дождевые черви, особенно никодрилюс салигинозус, — настолько быстро, что нецелесообразно проводить их интродукцию. Но кислые минеральные третичные отложения медленнее заселяются червями. Расселение никодрилюс салигинозус идет в этом случае со скоростью не более 10 метров в год, а октолазиум лактеум — до 20 метров в год.

Черви проникают как из соседних, ненарушенных почв, так и из компостов, специально вносимых при рекультивации. Процесс ускоряется при мульчировании рекультивируемых земель опавшими листьями; такая мульча улучшает гидротермический режим и служит червям источником пищи. Но даже в условиях влажного климата Средней Европы подстилочные виды (дендробена октаэдра, люмбрикус рубеллюс) не выносят создающегося режима, тогда как вносимые в этих условиях черви никодрилюс салигинозус приживались.

Показательный опыт поставили в 1949 году в Новой Зеландии. На пастбище с исходно кислой почвой на всей площади провели известкование. В пяти местах на пастбище выпустили по 25 особей никодрилюс салигинозус — вида, который хорошо мирится не только с пастбищными условиями, но и с обработками почвы. Через четыре года

площадки в местах выпуска стали отличаться более густой растительностью и более яркой зеленью. Через восемь лет границы освоенных червями площадок расширились примерно на 100 метров, выделяясь тем, что там лучше росла трава.

Урожай трав через пять лет после выпуска червей составлял 4420 фунтов на 1 акр, а в 40 метрах от них — 2540 фунтов (сухой вес за три укоса). Содержание кальция в слоях почвы тоже оказалось различным. Там, где червей не было, рассыпанная по поверхности известь и через пять лет оставалась в основном в самом верхнем слое почвы. Там, где расселились черви, они способствовали вовлечению извести в почву.

В Австралии, в Новом Южном Уэльсе, на пастбищах, где не было дождевых червей, накапливался слой растительных остатков и навоза толщиной около четырех сантиметров, который постепенно исчезал после экспериментального внесения дождевых червей пикодрилюс салигинозус (за восемь лет популяция интродуцированных червей распространилась на 100 метров от мест выпуска). На Ротэмстедской станции, где пастбища регулярно удобряли сульфатом аммония, исчезали дождевые черви, следствием чего было накопление слоя мертвых растительных остатков. Известкование обычно способствует повышению на 50 процентов численности интродуцируемых червей.

Интродукция навозников для мелиорации пастбищ

Как известно, на Австралийском материке до открытия его европейцами не было копытных млекопитающих. Колонизация Австралии была связана с бурным развитием скотоводства и использованием обширных территорий, занятых травянистой растительностью, под пастбища.

Местная фауна оказалась неприспособленной к питанию навозом. Австралийские животноводы подсчитали, что ежедневно крупный рогатый скот оставляет на пастбищах около 200 миллионов лепешек навоза, не поддающегося воздействию местных навозников.

Накапливаясь в огромных количествах на поверхности почвы, крайне медленно разлагающиеся лепешки навоза, подсыхая, затрудняют рост травы и снижают производительность пастбищ.

В кучках навоза, особенно жидкого коровьего, в мас-

се размножается кустарниковая муха, исключительно назойливая, изводящая повсеместно летом скот и людей не только на фермах, но и в городах. В северных частях материка к ней присоединяется завезенная жигалка вида хематобия эксигуа, причиняющая болезненные уколы. Оба вида можно рассматривать как компоненты местного гнуса, снижающего работоспособность людей и продуктивность животноводства.

Австралийский почвенный зоолог Г.-Ф. Борнемисса предложил провести работу по интродукции навозников, питающихся экскрементами копытных, чтобы они способствовали освобождению пастбищ от навоза, удобрению почвы пастбищ и ликвидации массового размножения назойливых и кровососущих мух, развивающихся в навозе.

Среди навозников выбрали несколько перспективных видов, и особенно эффективным оказался навозник онтофагус газелла. Жуки этого вида быстро расселились на северо-востоке Австралии, за два года проникнув на 80 километров в глубь материка (в течение трех лет выпустили около 275 тысяч жуков). Жуки питаются навозом, зарывают его в землю, где в изготовленных родителями навозных шариках развиваются личинки (в результате происходит удобрение почвы!), незарытые остатки навоза жуки размельчают, они быстро сохнут, что делает их непригодными для развития мух. Даже в тех случаях, когда мухи развиваются, они оказываются много мельче и менее плодовитыми, чем выводящиеся на нетронутых жуками лепешках навоза.

Использование интродуцируемых навозников в Австралии — частный случай зоологической мелиорации почв, который служит достаточно убедительным примером.

Разумеется, при дальнейшей интродукции необходимо предусмотреть опасности заноса с интродуцируемыми почвенными беспозвоночными возбудителей заболеваний человека, гельминтов и других паразитов животных и растений. Опыт работы в Австралии с африканскими навозниками, где были приняты меры к получению стерильных яиц навозников, доказывает возможность такой карантинной обработки.

Интродукция отсутствующих на данной территории видов беспозвоночных-почвообразователей — технически самый простой и эффективный прием зоологической мелиорации почв.

Перспективны и другие методы. Это известкование кис-

лых почв для улучшения среды обитания беспозвоночных-калькофилов, к которым относятся многие почвообразователи (дождевые черви, многоножки-кивсяки, мокрицы). Это система обработок почвы, минимально нарушающих почву как среду. Это внесение компостов на таких стадиях разложения, когда они обогащены полезными почвенными беспозвоночными. И наконец, это разумное ограничение применения пестицидов, дефолиантов и других химических соединений, губительно действующих на почвенных животных и других полезных обитателей почвы.

Широкий экологический подход к системе земледелия, луговодства, лесоводства — предпосылка повышения биологической активности и плодородия почв.

Зоологические методы компостирования отходов

Использование биологических агентов для получения необходимых человеку продуктов — биотехнология — в центре внимания современной биологии, и, пожалуй, нет сейчас такой области биологической науки, которая не могла бы внести свой вклад в ее развитие. Этим своим положением биотехнология обязана прежде всего той роли, которую она во всевозрастающей степени играет в решении крупных задач народного хозяйства и медицины. В наш век, в условиях урбанизации и интенсификации потребления растительных ресурсов, одной из таких задач становится рациональное использование органических отходов как городского хозяйства (городской мусор, сточные воды), так и сельского (особенно навоз крупных свиноферм), ежегодные количества которых весьма внушительны.

Обезвреживание и утилизация этих отходов важны и с точки зрения такой остро стоящей ныне проблемы, как охрана окружающей среды.

Компостирование органических отходов основано на использовании совокупной деятельности различных групп микроорганизмов и беспозвоночных животных. Для компостирования отходы закладываются в бурты, где создается благоприятный для полезных организмов режим температуры и влажности. Чем труднее разлагается компостируемый субстрат или чем быстрее он слеживается по мере разложения, тем больше должно быть отношение соприкасающейся с открытым воздухом поверхности бурта с его объемом. Приняты обычно бурты размером около

3 метров в ширину и около 1,5 метра в высоту (длина зависит от размеров доступной для компостирования площади и количества вещества).

Навоз, отстой канализационных вод, городской органический мусор, навозная жижа и т. п. — все это быстро разлагающиеся субстраты, а добавляемые к ним медленно разлагающиеся вещества (торф, измельченная кора — отход деревообрабатывающей или целлюлозной промышленности и т. п.) служат адсорбентами первичных и вторичных продуктов разложения. Иногда в качестве адсорбента к компосту добавляют почву. Для поддержания требуемого режима компостирования бурты время от времени ворошат (для аэрации), иногда прогоняют через них воздух, а для увлажнения поливают водой или навозной жижей.

В процессе компостирования в буртах сперва происходит разрушение легко усваиваемых соединений — сахаров, полисахаридов, затем белков и гемицеллюлоз, медленнее всего разлагаются лигнин, дубильные вещества и т. п. Разложение сопровождается синтезом комплекса гумусовых соединений. В результате масса органического вещества уменьшается, компост обогащается азотом, гумусом, возрастает его зольность. Меняется и структура органических осадков: они размельчаются, и из них, в основном в результате деятельности беспозвоночных, образуются зернистые агрегаты.

В начале компостирования при окислении микроорганизмами легко доступного углерода внутри бурта в течение нескольких дней быстро возрастает температура (например, в буртах из городских отбросов — до 70 градусов Цельсия), которая затем, по мере использования соединений, легко усваиваемых микрофлорой, постепенно снижается. В это время деятельность животных внутри бурта исключена — там происходит естественная пастеризация субстрата; беспозвоночные могут заселять только самый поверхностный слой компоста.

На первых этапах компостирования в бурты проникают мелкие беспозвоночные, для которых исходный перерабатываемый материал представляет подходящую среду обитания. Это способные к полету насекомые, в основном двукрылые и жуки, переносимые ими нематоды или клещи и др. По мере понижения температуры внутри бурта до 20—25 градусов в него проникают многие мелкие членистоногие (панцирные клещи и коллемболы), мелкие кольчатые черви — энхитреиды и более крупные дож

девые навозные черви эйсения фетида. Эти черви месяца через два изрешечивают своими ходами весь бурт до самого основания, способствуя проникновению по ним мелких форм. При весенней закладке компостов осенью в них появляются и типично почвенные сапрофаги. Их деятельность завершает «созревание» компоста, основным компонентом которого становятся экскременты беспозвоночных.

Особое значение в переработке компостов имеют навозные дождевые черви эйсения фетида. Этот вид распространен в наших южных широколиственных лесах, где он развивается в гниющей древесине или в скоплениях опавших листьев. Однако, следуя за человеком, он становится обычным в разных скоплениях гниющих растительных остатков антропогенного характера. В естественно разлагающемся навозе и в компостах численность этого червя может достигать огромных масштабов: около 3000 червей на 1 квадратный метр бурта, до 6500 в слое 10 сантиметров. Биомасса этих червей при 500 особях в 1 литре компоста достигает 68 килограммов на 1 квадратный метр субстрата; все вещество компоста проходит через их кишечник, так что в конце компостирования органические остатки приобретают зернистую структуру и состоят из копролитов — экскрементов червей.

По расчетам О. Граффа в ФРГ, разложение компостируемых веществ и «созревание» компоста (переход в состояние, оптимальное для удобрения) совершаются при заселении червями в 14 раз быстрее, чем без них. Черви эйсения фетида способны к переработке и превращению в хорошее удобрение таких органических отбросов, как анаэробный ил канализационных вод, свиная навозная жижа и т. д. Такие отбросы в результате их переработки этими червями утрачивают дурной запах, освобождаются от вредной микрофлоры, приобретают агрономически ценную зернистую структуру, утрачивают токсичность для корней растений.

В США несколько компаний занимаются выращиванием и коммерческой реализацией дождевых червей и продажей их экскрементов, представляющих собой ценное органическое удобрение. Осадок сточных вод (после аэробной либо анаэробной ферментации) высушивают, а затем брикетируют, складывают штабелями, заселяют дождевыми червями (1500 граммов на 0,125 кубометра осадка) и выдерживают при 30—35-процентной влажности в течение четырех месяцев. В Калифорнии количе-

3 метров в ширину и около 1,5 метра в высоту (длина зависит от размеров доступной для компостирования площади и количества вещества).

Навоз, отстой канализационных вод, городской органический мусор, навозная жижа и т. п. — все это быстро разлагающиеся субстраты, а добавляемые к ним медленно разлагающиеся вещества (торф, измельченная кора — отход деревообрабатывающей или целлюлозной промышленности и т. п.) служат адсорбентами первичных и вторичных продуктов разложения. Иногда в качестве адсорбента к компосту добавляют почву. Для поддержания требуемого режима компостирования бурты время от времени ворошат (для аэрации), иногда прогоняют через них воздух, а для увлажнения поливают водой или навозной жижей.

В процессе компостирования в буртах сперва происходит разрушение легко усваиваемых соединений — сахаров, полисахаридов, затем белков и гемицеллюлоз, медленнее всего разлагаются лигнин, дубильные вещества и т. п. Разложение сопровождается синтезом комплекса гумусовых соединений. В результате масса органического вещества уменьшается, компост обогащается азотом, гумусом, возрастает его зольность. Меняется и структура органических осадков: они размельчаются, и из них, в основном в результате деятельности беспозвоночных, образуются зернистые агрегаты.

В начале компостирования при окислении микроорганизмами легко доступного углерода внутри бурта в течение нескольких дней быстро возрастает температура (например, в буртах из городских отбросов — до 70 градусов Цельсия), которая затем, по мере использования соединений, легко усваиваемых микрофлорой, постепенно снижается. В это время деятельность животных внутри бурта исключена — там происходит естественная пастеризация субстрата; беспозвоночные могут заселять только самый поверхностный слой компоста.

На первых этапах компостирования в бурты проникают мелкие беспозвоночные, для которых исходный перерабатываемый материал представляет подходящую среду обитания. Это способные к полету насекомые, в основном двукрылые и жуки, переносимые ими нематоды или клещи и др. По мере понижения температуры внутри бурта до 20—25 градусов в него проникают многие мелкие членистоногие (панцирные клещи и коллемболы), мелкие кольчатые черви — энхитреиды и более крупные дож-

девые навозные черви эйсения фетида. Эти черви месяца через два изрешечивают своими ходами весь бурт до самого основания, способствуя проникновению по ним мелких форм. При весенней закладке компостов осенью в них появляются и типично почвенные сапрофаги. Их деятельность завершает «созревание» компоста, основным компонентом которого становятся экскременты беспозвоночных.

Особое значение в переработке компостов имеют навозные дождевые черви эйсения фетида. Этот вид распространен в наших южных широколиственных лесах, где он развивается в гниющей древесине или в скоплениях опавших листьев. Однако, следуя за человеком, он становится обычным в разных скоплениях гниющих растительных остатков антропогенного характера. В естественно разлагающемся навозе и в компостах численность этого червя может достигать огромных масштабов: около 3000 червей на 1 квадратный метр бурта, до 6500 в слое 10 сантиметров. Биомасса этих червей при 500 особях в 1 литре компоста достигает 68 килограммов на 1 квадратный метр субстрата; все вещество компоста проходит через их кишечник, так что в конце компостирования органические остатки приобретают зернистую структуру и состоят из копролитов — экскрементов червей.

По расчетам О. Граффа в ФРГ, разложение компостируемых веществ и «созревание» компоста (переход в состояние, оптимальное для удобрения) совершаются при заселении червями в 14 раз быстрее, чем без них. Черви эйсения фетида способны к переработке и превращению в хорошее удобрение таких органических отбросов, как анаэробный ил канализационных вод, свиная навозная жижа и т. д. Такие отбросы в результате их переработки этими червями утрачивают дурной запах, освобождаются от вредной микрофлоры, приобретают агрономически ценную зернистую структуру, утрачивают токсичность для корней растений.

В США несколько компаний занимаются выращиванием и коммерческой реализацией дождевых червей и продажей их экскрементов, представляющих собой ценное органическое удобрение. Осадок сточных вод (после аэробной либо анаэробной ферментации) высушивают, а затем брикетируют, складывают штабелями, заселяют дождевыми червями (1500 граммов на 0,125 кубометра осадка) и выдерживают при 30—35-процентной влажности в течение четырех месяцев. В Калифорнии количе-

ство осадка, потребляемого за сутки червями, равно 40 процентам их веса.

По окончании «работы» червей всю массу компоста пропускают через цилиндрическое вращающееся сито. Большая часть остающихся в роторе червей скапливается в одном его конце, их употребляют для заселения следующих партий компоста, а прошедшие сито копролиты представляют коммерчески ценное удобрение без неприятного запаха, не самонагревающееся при хранении, не токсичное для растений.

Предприятие в Каламазу (штат Мичиган) пропагандирует для сельских местностей компостирование кухонных отбросов с помощью дождевых червей в кустарных условиях — в ящиках, ведрах и т. п.

В Финляндии разработана схема компостирования осадка сточных вод в смеси с отходами коры, получаемыми на деревообрабатывающих и целлюлозных предприятиях.

На Филиппинах организован центр по «вермикультуре», то есть по разведению дождевых червей, который объединяет свыше 1000 предпринимателей, выращивающих этих червей не только как производителей компостного удобрения, но и как источник белков и жира (55 процентов белка и 13 процентов жира от сухой массы червей) для использования в рыбном хозяйстве, в качестве заменителя рыбной муки в животноводстве.

Совершенно ясно, что наступило время широко использовать «вермикомпостирование» в практике переработки органических отходов.

У нас во Всесоюзном институте животноводства разрабатывается и другое направление — использование животных в переработке органических отходов, в частности свиного навоза. Для этого используются личинки комнатной мухи. Навоз слоем около 20—30 сантиметров помещают на решетчатое основание, его заселяют личинками специально разводимых мух. По мере созревания готовые окуклиться личинки мигрируют вниз, проваливаются сквозь решетку, и их собирают со специально подставляемых листов. Собранные личинки после запаривания представляют собой ценный источник белковой пищи для свиней и домашней птицы, а получаемый компост — удобрение, обладающее противонематодным действием в теплицах.

Агроценозы сегодня и завтра



В. Р. Вильямс, создавший в 30-е годы учение о плодородии почв, определял плодородие как способность почвы удовлетворять потребности растения в воде и питательных веществах. Сейчас в понятие «плодородие почв» включают правильно организованную технологию выращивания сельскохозяйственных растений, не зависящую от капризов природы. Естественное же плодородие рассматривается лишь как часть потенциала почвы.

Почва — продукт длительного изменения поверхностного слоя горных пород под действием живых организмов, воды, воздуха. Не будем забывать, что и сами горные породы — плод биосферы, таков же воздух, таков же химический состав веществ грунтовых вод.

А вот организмы, которые живут в почве, меняются очень мало. «Сонное царство», «заторможенная эволюция», «живые ископаемые» — такие выражения здесь вполне правомочны. Древнейшие из известных ученым экосистем — прокариотные, состоящие из микроорганизмов, существ безъядерных, — прекрасно чувствуют себя в почве. До сих пор микроорганизмы связывают воедино все круговороты органических веществ, осуществляют фиксацию азота, регулируют круговорот фосфора, обеспечивают разложение органических соединений.

Именно микробы, их биоценозы из сине-зеленых водорослей и бактерий, которые существовали в мелких водоемах на протяжении трех миллиардов лет в гордом одиночестве, подготовили условия для появления животных и растений. Эти новые высокоорганизованные существа не заменили прежние микробные экосистемы, а только усложнили, надстроили их, удлинили в них пищевые цепи.

Функцию переработки органики, которую образуют растения, со временем взяли на себя животные, но они не доводят разложение до конца, работают «рука об руку» с микробами. Только так обеспечивается круговорот веществ. Если мы говорим, что нет почв без животных, то в еще большей степени это относится к микробам, которые участвуют в биогенном круговороте. И гораздо активнее.

Все это необходимо иметь в виду, говоря о диалектике плодородия: оно менялось в разные геологические периоды по мере эволюции почвенного покрова. Не сразу у наземных растений развились мощные корни, способ-

ные высасывать воду и питательные вещества с большой глубины. Не сразу сформировались комплексы микробов и животных, способные перерабатывать растительные остатки. Поэтому в палеозое, как полагают, почвы были маломощные, поверхностные, сплошь покрытые толстым слоем мертвого растительного опада.

Теперь в агроценозах плодородие почв во многом обеспечивает человек, помогая живым организмам почвы удовлетворить потребности сельскохозяйственных растений в минеральных солях, воде, воздухе, для дыхания корней.

Но уже сейчас возникают ситуации, когда человек вынужден сам сотворить землю, не прибегая к помощи других живых существ, но искусственно создавая условия для роста растений, аналогичные природным. Такие почвы создали белорусские химики на основе ионитов — искусственных материалов, напоминающих своеобразную химическую губку. Разница в том, что впитать эта «губка» может любые химические вещества, а выжать из нее ничего не удастся, разве только обменять один ион на другой.

Внешне эта почва оказалась похожей на вату, на ней хорошо росли капуста, укроп, другие овощи. Ее можно в избытке насытить нужными растениям ионами на многие годы, а в обмен она будет связывать ненужные ионы корневых выделений. Такие почвы побывали уже на космических кораблях, с ними работали космонавты Климук и Коваленок, Губарев и Гречко, Рюмин и Попов. Найдут они применение и в земных теплицах.

Но пока на Земле заботой земледельцев является повышение плодородия естественных почв на десятках и сотнях миллионов гектаров. Решить проблемы повышения плодородия почв может только тесный союз земледельцев с наукой, необходимость которого так требовательно была подчеркнута на апрельском Пленуме ЦК КПСС 1985 года.

Фундамент аграрного цеха

Под пашней сейчас в СССР занято 227 миллионов гектаров, то есть на каждого жителя приходится 0,84 гектара. Однако в целом по стране природные возможности далеко не идеальны. Достаточно сказать, что две трети посевов зерновых размещается в зоне недостаточного увлажнения. Потенциальное плодородие наших почв

вдвое ниже, чем, скажем, в США. Следовательно, на единицу продукции требуется двое больше затрат труда. Восполнение, умножение силы пашни — важнейшая задача растениеводства.

За последние годы удалось резко повысить продуктивность многих сортов прежде всего за счет улучшения питания. Но чудес в природе не бывает: взятое у земли надо вернуть с лихвой. В Нечерноземной зоне за сезон расходуется с гектара свыше тысячи килограммов гумуса. Возвращается же в почву примерно половина.

Ничего страшного, уверяют агрономы, все можно поправить с помощью минеральных удобрений, паров. Опасное заблуждение: туки без органики малоэффективны. Ее применение, правда, постоянно растет и достигло миллиарда тонн. Многие хозяйства Белоруссии, Подмосковья на гектар вносят по 13—19 тонн компостов, а вот в Рязанской, Тульской и ряде других областей — всего лишь по 4 тонны — втрое-вчетверо меньше нормы.

Наука и практика располагают богатым арсеналом средств для повышения плодородия, роста урожайности. Среди них надо особо отметить новые способы обработки почвы, открытые дважды Героем Социалистического Труда Т. С. Мальцевым.

Разработанные им методы по праву стали называться мальцевской системой земледелия. На его идеях воспитывалось не одно поколение сибирских агрономов, мастеров высоких урожаев. Еще в начале 40-х годов он пришел к выводу о необходимости заменить пахоту безотвальной и поверхностной обработкой. Проведенные в колхозе «Заветы Ленина» опыты, когда зерновые засевались по непаханой почве, показали, что многолетние и однолетние растения, которые раньше делили на «разрушителей» и «восстановителей» плодородия, оставляют органических веществ в земле больше, чем потребляют их.

Так Т. С. Мальцев сформулировал главную задачу безотвальной обработки — помогать однолетним растениям систематически улучшать почвенное плодородие. Широко известной на Западе теории «убывающего плодородия» Т. С. Мальцев противопоставил теорию плодородия возрастающего. В основе ее — мысль о том, что необходимо максимально учитывать закономерности почвообразовательного процесса и приспосабливать к ним агротехнику.

Традиционная вспашка резко изменяет условия жизнедеятельности микроорганизмов, усиливает аэробные

процессы, разрушает структуру почвы. Т. С. Мальцев пришел к выводу, что ежегодно глубоко поле пахать нельзя, нужно проводить лишь мелкое поверхностное лущение. Чтобы окультуривать не только верхний, но и нижние слои, создать более благоприятный водно-воздушный и пищевой режимы, наряду с поверхностной обработкой он предложил в паровом поле глубокое безотвальное рыхление.

Открытие Т. С. Мальцева стимулировало поиски других ученых. Исходя из почвенно-климатических условий Северного Казахстана, во ВНИИ зернового хозяйства под руководством академика ВАСХНИЛ, Героя Социалистического Труда А. И. Бараева разработали почвозащитную систему, основанную на плоскорезной обработке с максимальным сохранением стерни. Это новшество позволило приостановить на огромных площадях ветровую эрозию.

Со временем безотвальная обработка распространилась в Западной Сибири, на Алтае, в Поволжье, на Северном Кавказе, в Нечерноземной зоне, на Украине и в других районах.

Рекомендуя свой метод, Т. С. Мальцев, однако, предостерегает от его слепого копирования. «Одно мы считаем делом общим, — пишет он, — это стремление заставить однолетние растения систематически улучшать условия почвенного плодородия. От этого нужно и отправляться».

Но новая система пробивает себе дорогу медленно. Нелегко избавляться от старых привычек, от глубокого плуга. По мнению А. И. Бараева, такой плуг, некогда изобретенный в странах, где выпадает много осадков, поначалу сыграл положительную роль, подняв из более глубоких слоев питательные вещества. Сейчас же этот резерв в значительной мере исчерпан. Теперь надо делать ставку на растительный покров, который обеспечит почву нужным количеством гумуса. И тут на помощь приходит почвозащитная система.

Высокопродуктивные почвы — важнейшая предпосылка человеческой жизни и основа экологических процессов, благодаря которым люди извлекают из биосферы жизненно необходимые питательные вещества. И значение почв отнюдь не снижается, как бы ни были велики научно-технические достижения современного сельского хозяйства. Ибо, несмотря на новейшие методы производства пищевых продуктов, не зависящие от почвенных условий, все же в обозримом будущем никакой практиче-

ской альтернативы почвам соответствующего качества не видно.

Совместное творение природы и человека — так называемые огородные почвы. Люди сумели добиться того, что они стали намного плодороднее всех почв лесной зоны. Орошаемые почвы Средней Азии — тоже результат многовековой земледельческой культуры.

Земельные ресурсы

Чтобы вести правильную экономическую политику, необходимо знать, какова площадь обрабатываемых земель и возможность расширения земельного фонда, какова продуктивность почв и насколько она может быть увеличена.

История сельского хозяйства красноречиво свидетельствует о том, что человечество, стремясь освоить как можно больше земель, распахивало почвы, не обращая внимания на отрицательные последствия своей деятельности. Между тем развитие земледелия «вширь» имеет свои пределы. Площадь равнин, пригодных для земледелия, составляет более 40 процентов всей поверхности суши. Но многие территории слишком холодны для земледелия, другие заболочены. И на поверку оказывается, что площади, которые можно распахать, составляют всего шесть процентов поверхности суши, то есть около девяти миллионов гектаров. При этом большая часть еще не распаханных земель или используется под пастбища, или занята лесами.

Сокращать же площадь лесов явно нецелесообразно. Помимо того, что леса являются источником самых разнообразных продуктов и древесины, они выполняют такое множество охранных функций в природе и так благотворно влияют на все другие ресурсы, что их уничтожение, как правило, себя не оправдывает.

И тем не менее история земледелия была, по существу, историей сведения лесов. В зоне смешанных и широколиственных лесов их площади сократились на 40—50, в зоне средиземноморских сухих лесов — на 70—80, в зоне муссонных лесов (особенно в зарубежной Азии) — на 85—90 процентов. На Великой Китайской и Индо-Гангской равнинах осталось менее пяти процентов лесов. И сейчас их энергично продолжают уничтожать в тропических странах, где потребности в продовольствии на-

столько остры, что единственным средством обеспечения населения продуктами питания при существующем уровне развития сельского хозяйства является расширение посевных площадей.

Одна треть распаханных почв — в Европе, одна пятая — в Азии, одна пятая — в Америке, одна десятая — в Африке, и одна двадцатая — в Австралии и Океании. На одного человека в мире в среднем приходится 0,35 гектара. Правда, в эту площадь входят почвы, занятые хлопчатником и льном, а также другими техническими, непродовольственными культурами, но зато в нее не включены пастбища и сенокосы, продукция с которых идет для выращивания и откорма скота. Если же учитывать пастбища и сенокосы, то площадь такого участка возрастет до одного гектара.

Именно такова «норма» на человека в большинстве стран Центральной Европы. Но амплитуда колебаний здесь очень велика. В Японии этот показатель составляет 0,07 гектара, в Египте — 0,10, в СССР и США — более 2, в Канаде — более 3, в Аргентине — более 6 и в Австралии — более 40 гектаров.

Сколько человечество еще может освоить земель? И в каких местах? В полярном поясе, где распространены арктические пустыни и тундры, общая площадь земель — шесть миллионов квадратных километров. Из них используются всего около двух процентов — в основном как оленьи пастбища. Именно их можно увеличить, доведя до трех-четырех процентов.

В северной и центральной частях таежной зоны резервы более основательны: от двух процентов в северной части и до пятнадцати — в южной части тайги. Ввести в строй эти земельные площади поможет осушение заболоченных почв.

Основные массивы пахотных земель располагаются в южной части умеренного и наиболее увлажненных частях субтропического пояса северного полушария. Наиболее широко используются в земледелии черноземы, бурые и серые лесные почвы. К северу и югу от этих зон площадь пашни и степень земледельческого использования территорий уменьшаются.

Наиболее полно в умеренном поясе используются степи, площадь которых равна почти двум миллиардам гектаров.

Чернозем издавна был главной «хлебной» почвой России. Его происхождение научно обосновывал еще

М. В. Ломоносов, писавший, что он возникает от «согнития растительных остатков». До революции 100—200-пудовые урожаи (16—32 центнера) пшеницы с одного гектара без внесения удобрений с затратами только на вспашку делали чернозем действительно «царем почв» (такое определение дал чернозему В. В. Докучаев).

Производить зерно в степи оказалось выгоднее, чем в других зонах; здесь без всяких удобрений удавалось получить до 40 центнеров первоклассного зерна знаменитых русских «твердых» пшениц, без которого невозможно ни выпекать высшие сорта хлеба, ни готовить лучшие макаронные изделия.

Изучение черноземных почв навсегда связано с именем великого русского почвоведа В. В. Докучаева.

Человечество давно интересовалось этими почвами. Но только у Докучаева они стали объектом научных исследований. Над своей книгой «Русский чернозем» Докучаев работал более пяти лет. Он объездил почти всю черноземную зону европейской части страны, изучал по заказу земства также почвы Нижегородской губернии, совершенствовал методы полевых исследований, создавал основы генетической классификации почв.

К осени 1883 года книга была закончена. Ее издало Вольное экономическое общество, и она сразу же привлекла к себе внимание.

Защищать русский чернозем Докучаеву пришлось не только тогда, но и всю жизнь. С горечью писал он о хищническом отношении к почвам, об их истощении, называл прямых виновников, вырубавших лесные насаждения — хранителей влаги в степных районах.

Собранные Докучаевым образцы почв, дополненные образцами из других, нечерноземных губерний, были показаны на Всероссийской промышленно-художественной выставке в Москве в 1882 году и на Всемирной выставке в Париже в 1889 году. На обеих выставках образцы были отмечены золотыми медалями. Докучаев так подробно описал чернозем (его строение, распространение, плодородие, образование), что даже спустя сто лет после выхода его работы мало что можно прибавить к его характеристике.

Труды ученого не утратили актуальности и поныне. В «Русском черноземе» приведены данные о содержании гумуса в 290 почвенных разрезах. Сопоставляя их с нынешними, исследователи получили возможность определить, как изменился плодородный слой за сто лет. Ито-



ии, к сожалению, не всегда оказывались удовлетворительными. В ряде мест содержание гумуса понизилось. Причина — недостаточное внесение органических удобрений, последствия эрозии пашни, нарушение севооборотов.

Помимо чернозема, осваивались и другие, в частности, более южные почвы — каштановые. С их обработкой связана великая целинная эпопея 50-х годов.

Ныне грандиозные проекты связаны с освоением еще более южных полупустынной и пустынной зон. Почвы там плодородные, тепла достаточно, чтобы собирать два урожая в год, так что при правильном орошении можно планировать только за счет этой природной полосы расширение посевов еще на 1 миллион квадратных километров.

О том, что растениям необходима влага, знали еще

древние земледельцы Шумера, Китая и Египта. Но сколько ее нужно? Пшеница на широте Москвы поглощает на одном гектаре тысячу тонн воды, в сухих степях Заволжья — две тысячи тонн (могла бы и больше, но в почвах ее уже не хватает). Таким образом, для орошения тысячи гектаров требуется в течение лета два миллиона тонн воды. Если учесть, что часть ее испаряется, не попадая в растения, часть фильтруется в глубокие слои почвы и тоже проходит мимо растений, то эту цифру надо увеличить.

Сейчас в мире орошается не менее 100 миллионов гектаров. Красно-бурые почвы пустыни, сероземы, светло-каштановые почвы испытывают постоянную нехватку воды, орошение вторгается в пустыни. Но чтобы расширить его площадь, надо строить каналы, а обходится это очень дорого.

Ожившие пустыни северного Прикаспия, в Каракалпакии и северном Дагестане, Каракумский канал в Туркмении — убедительные доказательства того, какое это благо — орошение засушливых земель. Но откуда же взять воду для полива, которой не хватает и в других зонах? Немалые надежды связаны сейчас с проектом переброски части стока северных рек на юг. Проект этот очень сложен и требует оценки всех экономических и экологических исследований.

География поливов расширяется. Орошение продвинулось не только на юг, но и далеко на север. В летние месяцы поливают даже дерново-подзолистые почвы. Но в этом случае орошение должно обязательно сопровождаться внесением удобрений.

Осторожно: горизонт плодородия

На всем земном шаре почва подвергается губительным воздействиям. Продуктивность ее падает из-за эрозии, сведения лесов, засоления, подкисления, расширения городов, строительства дорог, аэропортов и промышленных предприятий, а также в результате применения химикатов.

В ряде районов планеты почва страдает от неправильной обработки и от чересчур интенсивной эксплуатации.

Почва нуждается в бережном отношении и заботливом уходе. Высокие урожаи обеспечивают прежде всего удобрения, восполняющие потерю питательных элементов,

которые уходят с урожаем. Там, где выпадает много осадков, например на подзолистых почвах, удобрения могут очень быстро вымываться из верхних горизонтов и попадать в грунтовые воды. И тогда они бесполезны для растений. Более того, накапливаясь в грунтовых водах, нитраты, соли азотной кислоты, становятся вредными для человека и животных.

Большое количество осадков, превышающее испарение, и плохой отток воды из почвы с грунтовыми водами приводят к заболачиванию территории. Почва так пропитывается водой, что из нее вытесняется весь воздух, и здесь могут развиваться только болотные растения. В лесной зоне очень часто заболачиваются сплошные вырубки, выемки вдоль железных дорог.

Заболачиванию в других зонах способствует неправильное орошение.

В засушливых районах почву подстерегают беды прямо противоположного характера — накопление солей в верхних горизонтах почвы и их иссушение, а это приводит к гибели растений.

Одна из главных опасностей, угрожающих почве, — эрозия.

Водная эрозия — смыв верхнего слоя почвы, разрушение ее поверхности, почвенных комков, нарушение связи между отдельными частицами, перенос частиц на более низкие участки и в реки. Когда смывается верхний плодородный слой, урожайность снижается на 60—70 процентов. Стекая по бороздам, колеям от колес, неглубоким западинам вдоль склонов, вода сначала образует промоины, которые постепенно увеличиваются. Если промоина глубоко врезалась в почву, так, что ее нельзя выровнять распашкой, она кладет начало оврагу. Овраги могут достигать в длину сотни километров. Известен случай, когда за одно лето стекающая после дождя с крыши фермы вода вырыла промоину, превратившуюся затем в овраг длиной в несколько километров.

Не менее вредна ветровая эрозия, так называемая дефляция. Воздушные потоки могут перекатывать почвенные частицы и отрывать их от земли. Ветер переносит их довольно далеко: известны случаи, когда они оказывались на расстоянии до 400 километров. При этом ветер подхватывает обычно самые мелкие и самые богатые питательными веществами частицы почвы. В результате плодородие снижается на 40—60 процентов. Ветер «выдувает» посевы, обнажая корни растений в одном месте, а в

других местах наносит целые «сугробы» из почв, нередко высотой до одного-двух метров.

Исследования показали, что гумусовый слой черноземов — основной источник их плодородия — частично или полностью снесен примерно на половине их площади.

Эрозия столь же стара, как и земледелие, и является обычным следствием стихийной распашки земель. Она особенно усилилась в эпоху капитализма. Стремясь получить максимальную прибыль, владельцы земли уничтожали леса и производили распашку склонов. В царской России без всяких предосторожностей распахивались склоны крутизной до 15—20 градусов, в то время как агрономическая наука считает крайним пределом крутизну 6—8 градусов. В итоге эрозия поразила лучшие земли Украины и Центральной России. Там и сейчас можно встретить овраги глубиной до 70 метров. За один только год такой овраг может «съесть» до 10—15 гектаров пахотных земель.

За последнее столетие водная и ветровая эрозия в мире уничтожила около 2 миллиардов гектаров земель, то есть площадь, равную территории СССР, или 27 процентов всех сельскохозяйственных земель планеты. Убытки от эрозии составляют во всем мире около 100 миллиардов долларов в год.

Несмотря на ряд мер, площадь эродированных земель в США составляет около 300 миллионов гектаров, из них более 110 миллионов — пахотные земли. Но первое место в мире по масштабам ускоренной эрозии принадлежит зарубежной Азии. Развитию эрозионных процессов там благоприятствуют сплошная распашка земель (в муссонных районах), вырубка лесов на водоразделах, преобладание пересеченного рельефа ($^3/_4$ территории зарубежной Азии располагаются на высоте более 200 метров), наличие огромных площадей рыхлых отложений, сухость климата в сочетании с ливневым характером осадков.

Эрозия, как пишет член-корреспондент АН СССР В. А. Ковда, — это расплата за ошибки в земледелии, и борьба с ней требует серьезного научного, инженерного и экономического обоснования и больших капитальных затрат.

В нашей стране борьбе с эрозией уделяется большое внимание. ЦК КПСС и Совет Министров СССР в марте 1967 года приняли постановление «О неотложных мерах по защите почв от ветровой и водной эрозии», в котором указывается на необходимость применения на сельско-

хозяйственных землях всего комплекса противоэрозионных мероприятий с учетом природных и социально-экономических факторов, для того чтобы превратить эродированные земли в высокопродуктивные сельскохозяйственные и лесные угодья.

В истории нашей страны накоплен достаточный печальный опыт, связанный с воздействием засухи на урожаи.

В 1891 году, например, засуха охватила 20 губерний. Россия недобрала полмиллиарда пудов зерна. Крестьянские хозяйства были разорены, опустели целые деревни. Причем засухи повторялись часто. И тогда подняли голос ученые. Докучаев писал: «Враги нашего хозяйства — ветры, бури, засухи — страшны нам только потому, что мы не умеем владеть ими». В статьях, публичных выступлениях ученый дал конкретные рекомендации, как предупредить трагические последствия засух.

Вскоре выходит его новая книга «Наши степи прежде и теперь». Весь доход от нее Докучаев передал в помощь голодающим. Блестяще написанная, убедительная, она и сегодня читается с захватывающим интересом. По его инициативе создается особая экспедиция департамента земледелия по изучению причин засухи. Организуются три опытные станции (участки) в Каменной степи под Воронежем, на водоразделе рек Дон — Донец и в сухой степи возле Таганрога. Под руководством Докучаева разводят лесополосы для защиты полей от суховеев, задержания талых вод. Закрепляются овраги, строятся водоемы, испытывается лиманное орошение. Лесополосы, посаженные Докучаевым, и ныне служат сельскому хозяйству.

Родиной степного лесоразведения является Россия. Начало ему положил еще Петр I, заложивший в 1696 году в степи близ Таганрога дубовую рощу, которая должна была давать корабельный лес для Черноморского флота. Однако все попытки лесоразведения, которые предпринимались впоследствии в Южной России, диктовались именно потребностью в строительном и топливном материале. Поворотным моментом в истории отечественного лесоразведения стали работы экспедиции В. В. Докучаева. В работе «Наши степи прежде и теперь» он в качестве одного из путей борьбы с засухой и неурожаями назвал степное лесоразведение.

В широких масштабах полезащитное лесоразведение начало развиваться после Великой Октябрьской социали-

стической революции. В постановлении Совета Труда и Обороны от 29 апреля 1921 года «О борьбе с засухой», подписанном В. И. Лениным, говорилось о необходимости развивать в государственных масштабах работы по облесению и укреплению оврагов и песков, особенно в районах Среднего и Нижнего Поволжья и Придонья.

В 1948 году Советом Министров СССР и ЦК ВКП(б) было принято постановление «О плане полезащитных лесонасаждений, внедрения травопольных севооборотов, строительства прудов и водоемов для обеспечения высоких и устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах Европейской части СССР», которое дало новый толчок развитию теории и практики степного лесоразведения.

Полезащитные лесные полосы, заметно ослабляя скорость ветра, регулируют температурный режим, способствуют равномерному распределению снега, повышают влажность воздуха и почвы в межполосном пространстве. Благодаря лесным насаждениям значительно улучшаются физические свойства степных почв.

Под защитой лесных насаждений в зонах недостаточного увлажнения урожаи зерновых повышаются на 20—30, овощных — на 50—75, кормовых трав — на 200 процентов.

Для полезащитных лесонасаждений требуется подбор местных засухоустойчивых сортов, тщательный уход за посадками, особенно в первые годы, правильный выбор мест для организации полос — преимущественно в низинах, куда поступает больше влаги с поверхностным стоком.

Очень важным средством борьбы с эрозией является безотвальная вспашка, предложенная Т. С. Мальцевым, которая оказалась очень эффективным средством, позволяющим противостоять засухе и пыльным бурям. При безотвальной обработке почвы на поле остается стерня, которая уменьшает скорость ветра над полем, задерживает снег и поверхностный сток с полей.

Очевидно, что борьба с эрозией почв в районах засушливого климата должна проводиться на больших площадях, и эффективной она может быть только в условиях общественной собственности на землю. При раздробленном, частнособственническом землепользовании неурожаи в зонах неустойчивого увлажнения неизбежны.

Процесс обработки почвы приводит к усилению минерализации органических и гумусовых остатков, распы-

лению и потере питательных веществ. В результате потери гумуса из-за нерационального использования земель составляют 0,25—0,5 тонны на гектаре в год. Это отрицательно сказывается на сельскохозяйственном производстве, так как приводит к снижению урожаев в два-три раза.

Сокращение запасов гумуса в биосфере имеет не только хозяйственное, но и большое экологическое значение. Биологическая продуктивность всей нашей планеты опирается на нормальное функционирование почвенного покрова, которое в первую очередь определяется состоянием гумусового слоя. Именно благодаря наличию гумусового горизонта почвы выступают как универсальный общеземной аккумулятор и распределитель энергии, необходимой для нормального обмена и круговорота вещества в ландшафтах.

Когда человек обрабатывает землю с помощью сельскохозяйственных орудий, почвенные частицы неизбежно разрушаются и почва превращается в плотную, бесструктурную массу, что ухудшает ее водно-физические и воздушно-физические свойства. Истощенные почвы гораздо сильнее подвержены эрозии, больше страдают от ветра, на них бурно растут сорняки. Все это, естественно, снижает урожаи. Многие века человек не умел управлять этими процессами, что неизбежно обрекало землю на истощение. Содружество науки и практики позволило создать рациональную систему земледелия, предусматривающую внесение органических и минеральных удобрений, периодическое травосеяние, высококачественную агротехнику. Стало возможно не только сохранение плодородия почв, но и существенное улучшение их свойств. Последнее чрезвычайно важно, если учесть, что во многих районах планеты территория, пригодная для посевов, не расширяется, а сокращается. Стремительно растут города — и не только ввысь, но и вширь, прокладываются дороги, строятся заводы, аэродромы и масса других объектов. Многие уникальные месторождения полезных ископаемых открыты именно там, где плодородные нивы. В нашей стране только за последние три пятилетки у села изъято около 5,5 миллиона гектаров угодий. А если взять всю планету, то ежегодно исчезает 14 миллионов гектаров пахотных земель, 6 миллионов гектаров пастбищ и 18 миллионов гектаров лесов. Если к этому прибавить еще потери, связанные с биологической деградацией, то станет ясно, насколько снижается способность

нашей планеты производить пищевые продукты, не говоря уже о нарушениях в жизненно необходимом круговороте веществ через биосферу.

Экология и управление биосферой

Стремительный XX век с его огромными техническими достижениями и поразительными открытиями принес с собой и немало проблем, вызывающих все большую тревогу. Одна из них связана с охраной окружающей среды и рациональным использованием природных ресурсов. Покорение природы, которым так гордится человек, нередко оборачивается расхищением ее богатств.

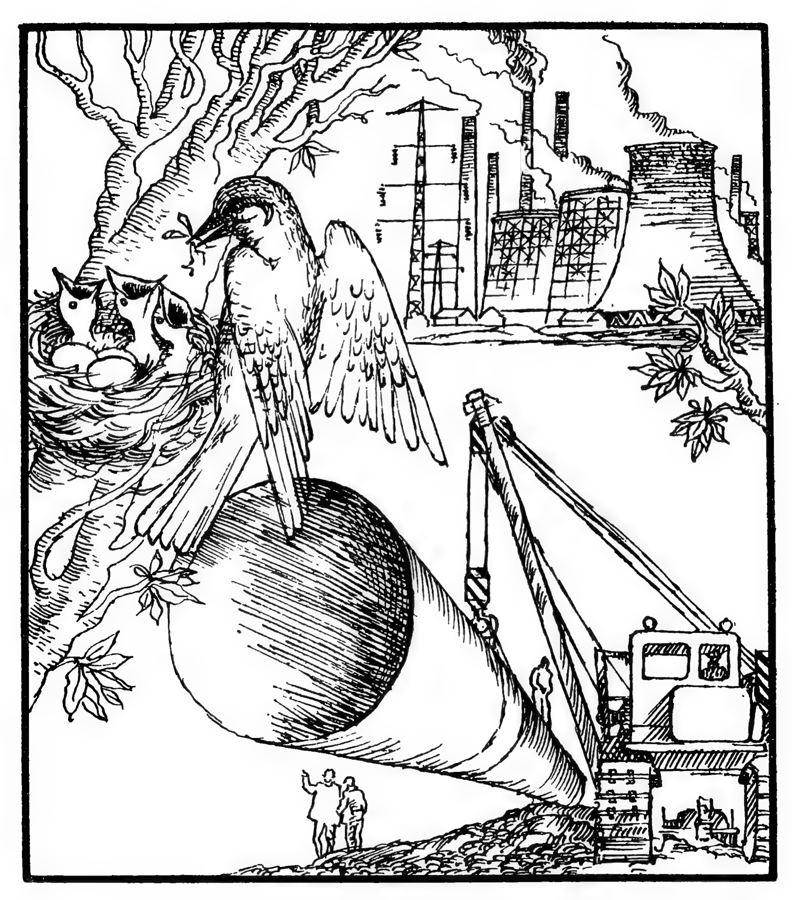
А ведь от сохранения и преумножения биологических ресурсов земли в конечном счете зависит судьба всего человечества. И здесь роль науки трудно переоценить.

Проблемами, связанными с использованием природных ресурсов, в той или иной мере занимаются многие науки. У каждой из них свой круг теоретических и практических вопросов, чаще всего связанных с определенной отраслью народного хозяйства. Общие же проблемы решает экология — наука об управлении живым покровом Земли.

Экологию интересует взаимодействие организмов и среды, которое определяет развитие, размножение и выживание особей, структуру и динамику популяций, развитие сообществ животных, растений и микроорганизмов, а также воздействие на все эти организмы хозяйственной деятельности человека.

Эта ныне бурно развивающаяся наука возникла на стыке нескольких отраслей знания. Формальной датой ее рождения обычно считают 1869 год, когда выдающийся немецкий эволюционист и зоолог Э. Геккель придумал сам термин «экология», дословно обозначающий: наука о жилище, местопребывании, убежище. Геккель определил задачу экологии: изучение взаимоотношений с органической и неорганической средой, с другими организмами. Сейчас взаимоотношениями организма с окружающей его средой, путями приспособления, механизмами адаптации занимается так называемая факториальная экология, экология особей.

Но особи в природе не существуют сами по себе, они живут общностями, популяциями, которые развиваются по своим законам, и законы эти должна раскрыть тоже



экология, правда, во взаимодействии со смежными науками — демографией, популяционной генетикой и т. д. Так возник в начале XX века второй раздел экологии — экология популяций.

Однако и популяции не существуют в отрыве от окружающей среды. Вода, почвы, воздух, климат определят, где им жить, а где — нет. Да и в своей «экологической нише» популяция любого вида обитает не одна, ей приходится делить место под солнцем с бесчисленным множеством других живых существ, жить в составе сообществ, тесно взаимодействующих с неживой средой. А это предмет исследований еще одной области науки — биогеоценологии. Так предложил ее называть выдающийся советский ботаник и лесовед Герой Социалистического Труда академик В. Н. Сукачев.

Впервые понятие «биогеоценоз» Сукачев употребил в 1940 году. Так стали обозначать однородный участок земной поверхности с определенными, притом неслучайными живыми (микробы, растения, животные) и косными (почва, вода, воздух) компонентами в их динамическом взаимодействии.

Несколько раньше, в 1935 году, английский ботаник А. Тенсли ввел в научный обиход термин «экосистема». Им он обозначил единый природный комплекс, образованный живыми организмами и средой их обитания, в котором живые и неживые компоненты связаны между собой через обмен вещества и энергии. В отличие от биогеоценоза экосистема «безразмерна», она не ограничена рамками конкретного ландшафта. Экосистемой можно называть и Мировой океан, и комнатный аквариум. Именно поэтому таким понятием удобно пользоваться при теоретических изысканиях, в математических моделях.

В каждом конкретном биогеоценозе изменение условий существования влияет на численное соотношение видов и даже видовой состав. За примерами ходить недалеко — достаточно вспомнить, к чему приводит заболачивание или высыхание водоемов. Этот общеизвестный процесс принято называть сукцессией. В результате сукцессионных изменений не только существование отдельных видов в данном биогеоценозе, но и само существование биогеоценоза ограничено во времени.

Конечно, не все виды одинаково реагируют на изменения среды. Одни переносят их легко и дольше сохраняются на данном участке, другие не выдерживают и либо гибнут, либо переселяются в другие места. Это относится не только к отдельным особям, но и ко всей популяции, которая обречена на вымирание, если хотя бы часть ее не спасется. Так что расселение наряду с размножением можно считать одной из основных функций живого организма.

Расселение играет определенную роль в эволюции видов. Осваивая новую территорию, животные приспосабливаются к новым условиям, вырабатывая в себе новые качества. В свою очередь, благодаря им может изменяться и окружающая среда.

Степь рассматривают как растительную формацию, способную существовать длительный срок. Однако устойчивость ее как биогеоценоза связана с теми изменениями растительного покрова, которые вызываются деятельностью других компонентов. Например, копытные, грызуны

и даже саранчовые, влияя на состояние степного покрова, способствуют стабилизации степной растительности. Локальные изменения растительного покрова (и соответствующие изменения других компонентов биогеоценоза) очень важны для сохранения общего облика степного биогеоценоза. На пороях грызунов возникают специфические микроассоциации растений. Так, в ковыльно-типчаковых степях Восточной Украины на пороях слепышей появляются всходы многих растений, в том числе таких видов, которые становятся сорняками на освоенных землях и не встречаются на задерненных участках.

Закономерно направленные изменения биогеоценозов — фактор, влияющий на популяции отдельных видов, на ход естественного отбора. Особый интерес вызывают изменения, связанные с сельскохозяйственной практикой, кардинально меняющей условия существования всех компонентов биоценоза и качественно изменяющей биотоп.

Существует довольно распространенный взгляд, будто естественные биоценозы и комплексы организмов, возникающие на полях и в садах в результате деятельности человека, — явления принципиально отличные. Это не так. Во-первых, все без исключения биогеоценозы в той или иной степени уже практически затронуты человеческой деятельностью. А во-вторых, между более или менее ненарушенными биогеоценозами и комплексами организмов, возникшими вместо них на освоенных землях, — сложная гамма переходов: например, от естественных лугов или степей через сенокосы и пастбища к многолетним сеяным травосмесям, многолетним травам, непропашным культурам и, наконец, к пропашным культурам, если говорить о землях, занятых под полевые культуры.

Аналогичные ряды прослеживаются от лесов, искусственно восстановленных на месте сведенных, через лесные монокультуры к садам с задерненными междурядьями и т. д.

Основное отличие агроценоза от естественного биогеоценоза в том, что вместо исторически сложившегося обычно многовидового растительного покрова участок поверхности суши, представляющий агроценоз, занят посевом растения, однородный характер которого иногда нарушен только сопутствующими сорняками. Культивируемому растению человек облегчает борьбу за существование. Формирование комплексов организмов, заселяющих посевы культурных растений и выживающих на них, подчиняется тем же закономерностям, которые управляют и

формированием естественных биоценозов. Значит, все посевы и посадки культурных растений можно рассматривать как своеобразные «вторичные» биоценозы.

Каждая наука, и это ясно видно на примере экологии, вызывается к жизни потребностями общества, производства, вырастает из той сокровищницы знаний, которые были накоплены ранее в процессе хозяйственной деятельности. Факториальная экология опиралась на опыт животноводства, популяционная экология — на опыт охотничьего хозяйства и борьбы с вредителями, биогеоценология выросла из практики лесоводства, генетического почвоведения В. В. Докучаева и из биогеохимии В. И. Вернадского. Но ведь и биогеохимии предшествовала полувековая практика применения минеральных удобрений в сельском хозяйстве.

В конце 60-х годов создателем первого в нашей стране центра экологических исследований — Института экологии растений и животных Уральского научного центра Академии наук СССР в Свердловске — академиком С. С. Шварцем было сформулировано положение об «антропогенизации» экологии, то есть о том, что экология должна обратиться к решению проблем, которые рождает взаимодействие человека и живой природы. Уточним: бездумное «взаимодействие» сплошь и рядом может оказаться печальным для обеих сторон: дикие растения и животные погибнут, а человек окажется на самим собой созданном пустыре.

Какое же отношение имеет экология к нашей теме? Самое непосредственное. Ведь почвенное плодородие — результат не только продуманной заботы земледельца, но и итог жизнедеятельности сообщества организмов — обитателей почвы. Управлять почвенными экосистемами можно, только базируясь на принципах экологии, обеспечить плодородие земель на многие годы вперед способен лишь этот путь.

Интересно, что почвенные обитатели не только очищают почву от гниющих растительных и животных остатков. Многие из них могут разлагать ДДТ и другие органические ядохимикаты, используемые в сельском и лесном хозяйстве, захоранивать продукты промышленных загрязнений. Именно эти незаметные существа поддерживают в чистоте наш общий дом — Землю.

И именно почвенные животные первыми принимают на себя удар, когда человек неразумно относится к природе. Ведь всякое изменение, любые нарушения окружа-

ющей среды отражаются на почве, любые частицы, загрязняющие воздух, в конце концов попадают в почву. Поэтому почвенные животные — универсальный биоиндикатор, сигнализирующий о состоянии окружающей среды и даже о направлении почвообразовательного процесса.

Экологию и сельское хозяйство роднят не только общие фундаментальные идеи в настоящем, не только одни заботы на будущее, но и... общее прошлое. Выдающийся генетик Н. И. Вавилов говорил, что в сельском хозяйстве основа — растениеводство. Не земледелие, которое является всего лишь способом обеспечить рост растений, а именно выращивание сельскохозяйственной продукции. Не случайно растениеводы пришли к мысли о биологической продуктивности, которая регулируется и человеком, и природными факторами.

В сельском хозяйстве возникли идеи о минеральном питании растений, о биогенном круговороте элементов и о том, что его можно регулировать, внося органические и минеральные удобрения. Здесь же нашли первое применение идеи о потоке энергии в сообществе живых организмов — то, что сейчас называют экологической биоэнергетикой. Так что принципы экологии рождались на основе огромного опыта сельскохозяйственной науки и практики, которыми они уже располагали к середине прошлого века.

Как обращаться с землей, чтобы добиться наибольшего плодородия? Испокон веков это было главной заботой земледельца. Современная наука экология распространила принципы разумного хозяйствования на всю биосферу. И речь уже идет не только о получении нужной человеку продукции, но и о воздействии на среду обитания самого человека. Академик С. С. Шварц писал, что миллионы веков биосфера поддерживала оптимальное соотношение важнейших для жизни элементов, но нескольких десятков лет промышленной революции оказалось достаточно, чтобы нарушить это равновесие. А оно грозит такими глобальными последствиями, как, например, неблагоприятные изменения климата.

Поскольку биосфера не имеет территориальных границ, многие экологические проблемы могут быть решены только совместными усилиями на базе широкого международного сотрудничества. По существующим расчетам, уже сейчас США и ФРГ потребляют больше кислорода, чем вырабатывается растительностью этих

стран, и, следовательно, они бесплатно «эксплуатируют» кислород, поступающий извне. Международный характер имеет и проблема эксплуатации живых ресурсов Мирового океана, а также стад мигрирующих животных, которые к тому же переносят из страны в страну многие инфекционные заболевания.

Борьба с загрязнением окружающей среды — предмет заботы каждого государства. Но не только его! К сожалению, опасность становится все более глобальной. Считается, например, что многие скандинавские озера лишились рыбы в результате отравления воды загрязненными осадками, но не своими, а чужими: их источниками являются Англия и центральноевропейские страны. Еще больше страдают реки, протекающие по территории нескольких государств (например, Рейн или Дунай). Это, так сказать, стихийные процессы. Еще страшнее — сознательное уничтожение природы путем применения дефолиантов, разрушения оросительной и дренажной систем, сведения лесов и т. д. Так действовал американский империализм во Вьетнаме, чтобы подорвать его экономику.

Советский Союз в 1974 году предложил заключить конвенцию о запрещении воздействия на природную среду и климат в военных и иных целях, несовместимых с интересами обеспечения международной безопасности, благосостояния и здоровья людей. Эти предложения одобрила XXIX сессия Генеральной Ассамблеи ООН подавляющим большинством голосов.

Агроценология — это актуально

О бережном использовании природных ресурсов ярко и убедительно говорилось на XXV съезде КПСС: «Можно и нужно облагораживать природу, помогать природе полнее раскрывать ее жизненные силы. Есть такое простое, известное всем выражение «цветущий край». Так называют земли, где знания, опыт людей, их привязанность, их любовь к природе поистине творят чудеса. Это наш, социалистический путь. Следовательно, мы должны рассматривать сельское хозяйство как огромный, постоянно действующий механизм охраны, культивирования живых природных богатств. И природа воздаст нам сторицей».

Чтобы на научной основе в широких масштабах ре-

шать поставленные задачи, необходимо дальнейшее развитие экологической науки. Когда речь идет о сельском хозяйстве, то низшей ячейкой экологического подразделения земель можно считать агроценоз — созданную человеком на ограниченном участке земной поверхности экологическую систему для производства той или иной продукции.

Сельскохозяйственная деятельность — древнейшая форма воздействия человека на окружающую среду. Изучение агроценозов и в традиционных земледельческих районах, и на вновь осваиваемых землях дает возможность понять те глубокие изменения, которые происходили и происходят в естественной среде, определить их направление и избавиться от некоторых их отрицательных последствий.

Именно агроценология должна стать фундаментальной биологической основой многих сфер современной сельскохозяйственной науки (организация сельского хозяйства, полеводство, луговодство, защита растений и т. д.). Немецкий зоолог К. Мебиус, который в 1890 году ввел термин «биоценоз», указывал, что деятельность человека вовсе не обязательно должна противостоять естественному развитию.

В нашей стране горячим пропагандистом агроценологии как важного направления экологии выступал крупный энтомолог, президент Энтомологического общества СССР, член-корреспондент Академии наук СССР Г. Я. Бей-Биенко. Его исследования саранчовых насекомых в 1952 году отмечены были Государственной премией СССР, они во многом способствовали искоренению этого давнего врага южного земледелия, о котором едко и образно писал А. С. Пушкин:

Саранча
летела, летела
и села;
Сидела, сидела,
все съела,
и вновь улетела.

На примере саранчи и других вредителей растений Бей-Биенко доказывал закономерный характер образования сообществ насекомых на полях, как и в естественных биогеоценозах.

Интереснейшие явления наблюдаются в таких своеобразных агроценозах, какими являются поливные зем-

ли, особенно рисовые поля. Рис — самая урожайная зерновая культура на земле, к тому же в тропиках он дает два урожая в год. Рисовые поля большую часть времени залиты водой, поэтому на них формируется совершенно особый биоценоз — из пресноводных и из почвенных животных.

Из тех водоемов (рек, каналов, озер), откуда поступает поливная вода, заносится множество пресноводных животных: личинки амфибий, пиявки, водяные насекомые, моллюски, рыбы, водяные ужи и т. д., которые в мелких, хорошо прогреваемых солнцем и хорошо снабжаемых кислородом водоемах (а именно таковы рисовые поля) обретают прекрасные условия для развития и размножения. Не случайно везде в тропиках с рисовых полей получают еще и дополнительный урожай в виде пресноводных животных: рыб, моллюсков, лягушек, ракообразных. Что же касается почвенных животных, то им зачастую живется совсем неплохо: на поливных землях расселяются дождевые черви, влаголюбивые насекомые и клещи, некоторые моллюски.

Случается, что на поливные земли проникают и размножаются там весьма нежелательные существа, например, на рисовых полях в Каракалпакии в массе развиваются личинки слепней, которые становятся бичом для крупного рогатого скота. Взрослые слепни тоже хорошо себя чувствуют при обилии влаги: в жаркий день они «пикируют» на поверхность водоема и пьют воду на лету, едва коснувшись ее.

Слепни — назойливые кровососы, не щадящие ни человека, ни домашних животных, особенно коров и лошадей. В южных оазисах они могут превратить весной и в начале лета жизнь в сущий ад. Вспоминается курьезный случай: один из наших зоологов в Бадхызском заповеднике в южной Туркмении решил избавить обитателей одного из кордонов от слепней и отравил теофосом единственную лужицу, из которой слепни пили воду. Каково же было удивление обитателей кордона, когда на следующий день они собрали 7 ведер мертвых слепней — такая масса кровососов ежедневно обрушивалась на обитателей двух маленьких домиков в пустыне.

Как видим, на рисовых полях создается совершенно особый комплекс животных, не похожий ни на что в прежнем естественном ландшафте.

Были выяснены и общие закономерности заселения

пахотных земель «дикими» видами растений (сорняками), животными и микроорганизмами на всех широтах и во всех природных зонах. Оказалось, что исходными ландшафтами, откуда издавна шло заселение сельскохозяйственных земель и образование агроценозов, были поймы рек, лесные поляны, остепненные участки среди лесной зоны, побережья моря. В результате хозяйственной деятельности древних земледельцев (выжигание и раскорчевка леса, регулирование пойм, осушение болот, распашка и использование под пастбища естественных лугов, создание участков поливных земель) складывались сообщества организмов, происхождение которых сейчас не составляет труда восстановить.

Но формирование агроценозов активно происходит и в наше время. Применение гербицидов, высоких доз минеральных удобрений, глубокая, многократная механическая обработка почвы, все более полное использование наземной растительной массы заметно изменяют экологическую ситуацию на полях. Постепенно сокращается и исчезает фауна, связанная с сорняками; складывается комплекс видов, которые способны быстро заселять поля, где есть полезащитные полосы, межи, сады; с юга активно продвигаются теплолюбивые виды микрофауны (в пахотных почвах европейской части СССР успешно расселяются средиземноморские виды клещей); новые организмы появляются на полях вместе с посадочным материалом.

К окружающей среде успешно приспосабливаются даже пришельцы с других материков: колорадский жук и филлоксера (вредитель корней винограда) в Европе, тропические виды дождевых червей рода феретима в теплицах и т. д.

Чтобы пресечь распространение вредных для человека видов, создана особая служба защиты растений, специальный контроль установлен на всех государственных границах, карантинные обязанности возлагаются и на таможенную службу. Все это дает весьма ощутимые результаты: в нашей стране нет многих опаснейших вредителей хлопчатника, технических культур, овощей и т. д. — пересечь границу им не удалось.

Таким образом, на обрабатываемых землях формируются комплексы видов, столь же закономерные и повторяющиеся в сходных условиях, как и в естественных ландшафтах.

Сельскохозяйственная практика — это не что иное, как своего рода грандиозный экологический эксперимент. На посевах и посадках культурных растений формируются особые биоценозы — агроценозы, в которых человек создает благоприятные условия только для возделываемых растений. Но при этом начинает действовать дополнительный жестокий фактор естественного отбора. Многие виды организмов, приспосабливающихся к жизни на земле под культурными растениями, становятся вредителями, возбудителями заболеваний, сорняками.

Как предвидеть все эти последствия, как подавить вредные виды и создать благоприятные условия для полезных — одна из самых актуальных проблем экологии наземных организмов. Ведь какой бы ни выдался год — погожий или непогожий, с полей, садов и огородов удается убрать далеко не все, что могло быть выращено. Часть урожая, притом довольно значительную, у людей отнимают непрошеные сотрапезники — вредители и возбудители болезней растений.

В нашей стране, например, потенциальный недобор зерна превышает ежегодно 25 миллионов тонн. Этим количеством зерна можно целый год кормить свыше 150 миллионов человек.

Урожай картофеля из-за болезней снижается ежегодно почти на пять миллионов тонн. В плодоводстве и виноградарстве годовой ущерб превышает два миллиарда рублей. Хлопка-сырца теряется больше миллиона тонн. Это значит, что население СССР ежегодно недополучает 2,5 миллиарда метров тканей. Кроме того, народное хозяйство лишается 90 тысяч тонн масла и большого количества другой продукции, вырабатываемой из хлопчатника.

Урожай сахарной свеклы, если бы не вредители и болезни, мог быть на девять миллионов тонн выше, и сахарные заводы получили бы возможность ежегодно вырабатывать дополнительно около 1250 тысяч тонн сахара — по 4,5 килограмма на каждого человека.

Чем продуктивнее культурные растения, чем больше содержат белка и других питательных веществ, тем привлекательнее они для вредителей. Если в высокоурожайном сорте много питательных веществ, то рано или поздно всегда найдется вредитель или возбудитель

болезни, приспособившийся к новым условиям. Следовательно, на полях, занятых лучшими сортами и возделанных по всем правилам агротехники, постоянно сохраняется угроза неожиданного появления вредных насекомых и микроорганизмов. Человек изобретает все новое и новое оружие для борьбы с ним. Но он не пренебрегает и помощью естественных врагов наших врагов — наших союзников в охране урожая. Среди них:

бактерии, грибы и вирусы, вызывающие заболевания и гибель вредных видов насекомых, грызунов и микроорганизмов;

хищные птицы, насекомые, лягушки, жабы, пауки — все, кто питается вредными насекомыми и грызунами-вредителями;

насекомые-паразиты вредных насекомых — они питаются соками тела, тканями и переваренной пищей вредителей.

100 лет минуло с тех пор, как И. И. Мечников открыл микроскопический гриб, зеленую мюскардину, вызывающий болезнь и гибель личинок хлебного жука кузьки, и успешно применил препарат гриба против этого опасного вредителя. С тех пор в нашей стране и за рубежом изучены разнообразные инфекционные заболевания вредных насекомых и грызунов. Для борьбы с вредителями изготовляются препараты живых бактерий, микроскопических грибов и вирусов, способные возбуждать массовые заболевания и даже опустошительные эпизоотии (эпидемии) в стане врагов урожая.

В США для борьбы с японским жуком используют два вида спорообразующих бактерий, которые несут этим опасным вредителям губительную для них молочную болезнь.

Большая часть других бактериальных препаратов имеет в своей основе споровые бактерии, впервые обнаруженные Пастером.

Среди растительноядных насекомых, размножающихся на полях и наносящих ущерб сельскому хозяйству, одни губительно действуют на все кормовые растения, другие специализируются на определенных видах.

Полевые насекомые на ранних стадиях развития (личинки, нимфы) меньше способны к расселению, взрослые же стадии передвигаются более активно, поскольку умеют летать. Поэтому, если продолжительность жизни личинки больше года или если ее развитие включает два вегетационных периода, в условиях сево-

оборота могут выжить только виды, способные переносить резкую смену кормовых растений, то есть полифаги, которые отличаются всеядностью.

Таковы, например, широко распространенные на полях европейской территории СССР проволочники (личинки щелкунов), циклы развития которых составляют четыре-пять лет. Они известны как поистине универсальные враги всех наших культурных растений.

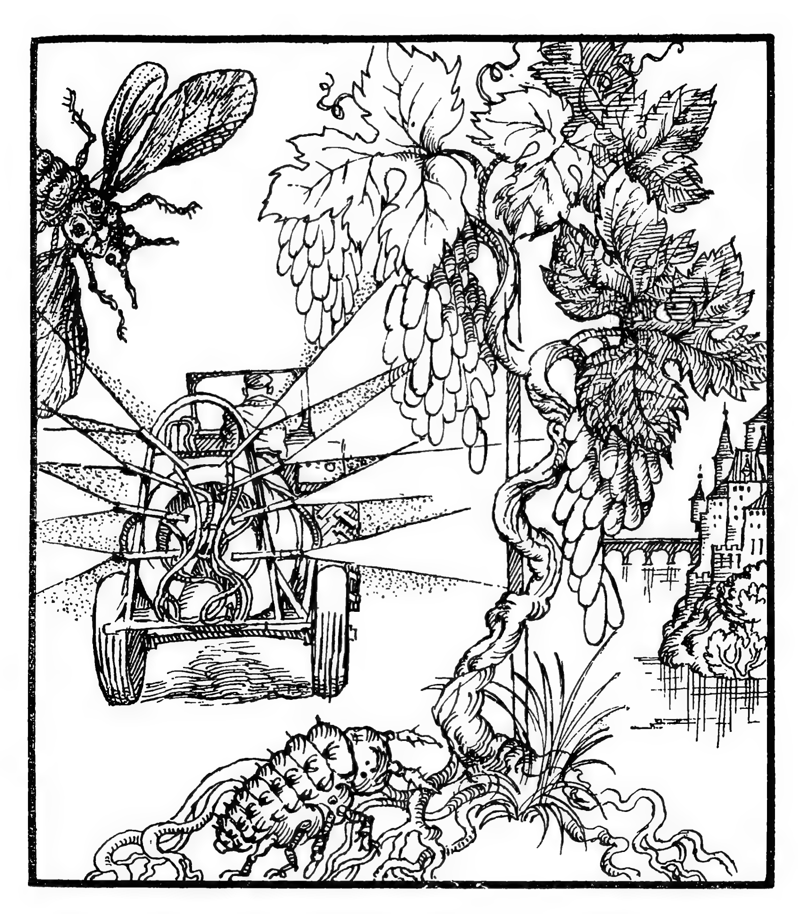
Для вредителей, которые способны в массе размножаться на полевых культурах и становиться важными компонентами агроценоза, характерно, что у них личинка живет меньше года и развивается в пределах одного вегетационного периода, а взрослая стадия может расселяться благодаря способности к полету.

Таковы, в частности, вредители, специализирующиеся на хлебных злаках (черепашка, шведская и гессенская мушки, хлебные блошки и др.), сахарной свекле (свекловичный долгоносик, свекловичные блошки, свекловичная щитоноска и др.) и т. д.

В изменяющихся условиях полевого севооборота, и прежде всего ввиду смены растительного покрова, естественный отбор форм, способный выжить, определяется не одним, а многими признаками, либо прямо зависящими от изменения среды, либо непосредственно не связанными с этим фактором (способность к расселению, длительность цикла развития).

Для современного культурного ландшафта характерны лесопосадки, защитные лесополосы и т. п. Благодаря им увеличивается многообразие видов, что, в свою очередь, повышает устойчивость биоценозов. В лесополосах поселяются насекомоядные птицы, насекомые-энтомофаги, истребляющие вредителей, — все это факторы естественной защиты растений, которые трудно переоценить.

Правильная организация всего ландшафта, а не только севооборота — основная предпосылка успешной борьбы с вредителями, при которой используются и наши союзники — птицы и насекомые, и целый комплекс агротехнических приемов, а применение пестицидов ограничивается своевременной обработкой тех мест, где появились вредители. Такая экологическая система была с успехом осуществлена в ряде хозяйств Средней Азии под руководством Институтов зоологии академий наук Таджикистана и Туркмении и Зоологического института Академии наук СССР.



Сейчас все чаще говорят о необходимости сократить, а то и вовсе отказаться от химических средств защиты, которые нередко причиняют вред тем или иным элементам природы. Им противопоставляют биологические методы борьбы с вредителями полей, лесов, садов.

Увы, химический метод был, есть и, по-видимому, еще долго будет оставаться самым эффективным средством борьбы с вредителями, массовое размножение которых создает угрозу для урожая, ибо пока только так можно справиться с нашествием орд насекомых достаточно быстро и на обширных территориях. Но у химического метода действительно много недостатков. Прежде всего ядохимикаты убивают не только вредных насекомых, но и полезных, в частности опылителей, без которых невозможны высокие урожаи ни плодовых культур, ни бобо-

вых, ни гречихи, а также естественных врагов вредителей — насекомых: хищников и паразитов, полезных почвообразователей. Кроме того, химикалии скапливаются порой в пищевых продуктах, что отнюдь не безразлично для здоровья человека.

Химический метод пытаются рационализировать, подбирая ядохимикаты, которые действуют избирательно, только против вредных насекомых. Но уравнение это со столькими количеством неизвестных, что отыскать верное решение очень сложно.

То, что «химию» надо сокращать, ясно каждому. А вот как обойтись вообще без нее, пока еще не придумали. Но более эффективно использовать помощь наших естественных союзников все же возможно. Способы здесь довольно просты (это и устройство гнездований, и охрана насекомоядных птиц), но применяются они далеко не везде. Размножению энтомофагов способствуют специально подобранные цветущие растения — они, как правило, обеспечивают высокую численность популяции таких перепончатокрылых — естественных врагов многих вредных насекомых.

На Украине уже десятки лет специально разводят наездников-яйцеедов трихограмм. Это небольшие перепончатокрылые насекомые. Развиваются они в яйцах вредных чешуекрылых, поедая зародышей и гусениц до их вылупления. А в Молдавию завезли других наездников для уничтожения кровяной тли, опасного вредителя яблони.

Биологические методы борьбы применяют и в закрытом грунте. Сотрудники Ленинградского сельскохозяйственного института «подсеяли» в теплицах к тлям и другим вредителям огурцов и помидоров хищных и паразитических насекомых. Несложная в общем-то работа позволила определить наиболее эффективные виды и сочетания насекомых для борьбы с вредителями, она уже принесла миллионы рублей экономии.

Тем не менее биологическому методу — несомненно перспективному и важному — присущ один весьма существенный недостаток: развитие естественных врагов нередко отстает по времени от размножения самого вредителя. И тогда приходится все же обращаться к химии.

Самый прогрессивный на сегодня способ — интегрированный, объединяющий агротехнические и химические средства.

На X Международном конгрессе почвоведов, состоявшемся в 1974 году в Москве, был подведен баланс земельных ресурсов планеты. Общая площадь потенциально пригодных для земледелия почв в мире — 3,2 миллиарда гектаров, обрабатывается 1,5 миллиарда. На каждого человека при нынешней средней урожайности требуется 0,4—0,5 гектара земли для производства пищи, около 0,1 гектара под жилье, дороги и другие несельскохозяйственные нужды. В 1974 году население Земли составляло 4 миллиарда. К 2000 году ожидается двухмиллиардный прирост. Это означает, что понадобится еще один миллиард гектаров — в том случае, если не будут расти урожаи.

Следовательно, уже в начале XXI века человечество исчерпает земельные ресурсы, пригодные для пахоты. И тогда единственным способом увеличить количество продуктов питания станет интенсивное земледелие, позволяющее с единицы площади пашни получить больше сельскохозяйственной продукции. Практически это возможно, если уже сегодня систематически увеличивать плодородие почвы. И здесь ведущая роль принадлежит удобрениям. Вот почему в практике мирового земледелия, в том числе и в нашей стране, производству и применению минеральных удобрений уделяется столь пристальное внимание.

Об интенсивном развитии земледелия еще в 1915 году Владимир Ильич Ленин писал: «Это означает технические изменения в земледелии, интенсификацию его, переход к высшим системам полеводства, усиленное употребление искусственных удобрений, улучшение орудий и машин, рост употребления их...»

На октябрьском (1984 года) Пленуме ЦК КПСС принята долговременная программа мелиорации, реализация которой во многом обеспечит создание устойчивого, неподвластного непогоде сельского хозяйства. За годы Советской власти сделано было немало. Достаточно сказать, что только в РСФСР протяженность каналов на мелиорированных землях превышает 400 тысяч километров — это больше, чем расстояние от Земли до Луны!

В каждом звене народного хозяйства есть изначальная основа, которую, по образному выражению журналистов, зачастую именуют «хлебом» отрасли. У самого хлеба, который всему голова, «хлеб» — земля, хорошо ухо-

женная, удобренная, снабженная достаточным количеством влаги.

Есть удобрения органические, есть минеральные. В течение тысячелетий для повышения плодородия пахотных земель использовались послеуборочные остатки, такие, как солома, а также естественная растительность и экскременты животных — основа для приготовления органических удобрений. Мергель и другие известковые материалы применялись уже в Римской империи для обеспечения культур кальцием и улучшения физических свойств почвы.

То были единственные удобрения, применявшиеся до начала XIX столетия, когда впервые использовали природные отложения натриевой селитры и кости животных. При растворении костей в серной кислоте содержащийся в них фосфат переходит в водорастворимую форму и образуется суперфосфат. Этот процесс, разработанный Лоозом на Ротамстедской опытной станции в 1840-х годах, положил начало производству химических удобрений. Они намного превосходят по своей эффективности органические, и, пользуясь ими, земледелец резко уменьшил зависимость урожая от почвенных запасов питательных веществ.

Впрочем, это вовсе не означало, что химия полностью заменит органику. А. Н. Энгельгардт, начавший одним из первых в России работать с минеральными удобрениями, в своей книге «Из деревни. 12 писем» (ее много раз цитировал в своих произведениях В. И. Ленин) еще в 1881 году писал: «Химическая теория совершенно верна. Истощенные почвы могут быть исправлены удобрением, но к удобрению искусственными туками можно прибегнуть только вовремя, при известном состоянии культуры... искусственные туки не исключают удобрение навозом, они должны быть употребляемы вместе с навозом для усиления его действия... Конечно, можно составить тук, так называемое полное удобрение, который может заменить навоз на хорошо обработанной почве, но невозможно было бы достать материалов для приготовления туков в том количестве, какое бы потребовалось».

Рассуждения А. Н. Энгельгардта были абсолютно верными. Но требования нынешнего века породили индустрию минеральных удобрений. К началу второй мировой войны сельское хозяйство планеты использовало девять миллионов тонн питательных веществ для расте-

ний (в пересчете на 100-процентное содержание азота, фосфора, калия), а в 1985 году только в нашей стране их будет произведено примерно вчетверо больше.

Столь резкое увеличение производства туков вызвано необходимостью преобразования сельского хозяйства. Появились новые интенсивные сорта культур, химические средства для борьбы с сорняками, вредителями и болезнями растений, на поля пришла мощная техника, разработаны новые системы земледелия — все это сильно увеличило потенциал сельскохозяйственного производства. Однако даже при наличии таких серьезных перемен невозможно было бы добиться высоких сегодняшних урожаев без минеральных удобрений.

В среднем за 10-ю пятилетку ежегодно в земледелии использовалось 18,1 миллиона тонн минеральных удобрений; за счет них дополнительно получено 32 миллиона тонн зерна, 26 миллионов тонн сахарной свеклы, 9 миллионов тонн картофеля и другой сельскохозяйственной продукции — всего на сумму 10 миллиардов рублей.

Чистый доход от применения минеральных удобрений составил 4,1 миллиарда рублей, окупаемость одного рубля затрат за счет дополнительной продукции — 2,17 рубля. Дополнительное применение каждой тонны минеральных удобрений в 11-й пятилетке должно дать не менее 4,4 тонны зерна или другой продукции в переводе на зерно.

Расширенное воспроизводство почвенного плодородия чрезвычайно важно само по себе. Но оно дает результат, если включено в хорошо продуманную сбалансированную систему земледелия, где одинаково значимы сорт, севооборот, техника, культура механизатора, работающего на земле.

Высокоурожайные и высокоиммунные сорта сельскохозяйственных культур, и прежде всего зерновых, способных противостоять вредителям и болезням, вынести капризы погоды, крайне необходимы для интенсивного земледелия.

Чтобы картина стала более ясной, рассмотрим обширный нечерноземный регион нашей страны — Нечерноземную зону РСФСР, Белоруссию, Прибалтийские республики и Полесье Украины.

Площадь сельскохозяйственных угодий Нечерноземья европейской части СССР составляет около 70 миллионов гектаров, в том числе 47,4 миллиона гектаров пашни. Нечерноземье занимает видное место в сельскохозяйствен-

ном производстве страны. Только в Нечерноземной зоне РСФСР сосредоточено почти пять тысяч колхозов и более четырех тысяч совхозов. Значение этой зоны в решении Продовольственной программы трудно переоценить.

На две тысячи километров с запада на восток и полторы тысячи с севера на юг протянулся древний край земли российской — Нечерноземье, лежащий «на худых» почвах — сильнокислых, бесплодных.

Сегодня здесь растут новые, преображаются старые города и поселки, заметно повысилась урожайность сельскохозяйственных культур.

Опыт земледелия Белоруссии и Прибалтийских республик показывает, что для этой зоны реальны устойчивые урожаи зерновых, превышающие 40 центнеров с гектара, картофеля — 350 центнеров, 400 центнеров и более — корнеплодов. Но это возможно, если упорно и систематически улучшать землю, удобрять ее, повышать плодородную силу. Около 8 миллионов гектаров сельскохозяйственных угодий региона уже осушены. Построены современные мелиоративные системы с орошением. Созданы системы двойного действия — осушительно-оросительные.

Но чтобы еще более активно воздействовать на почвообразовательный процесс, необходимы удобрения. За 15 лет каждый гектар интенсивно используемых сельскохозяйственных угодий западного региона стал получать вдвое больше минеральных удобрений, улучшилось соотношение в них азота, фосфора и калия. Однако это отнюдь не умалило значения органики. В Белоруссии на гектар площади севооборота в 7-й пятилетке вносили 7 тонн органики, а в 10-й — 13.

Проблемой номер один считается научно обоснованное повышение почвенного плодородия и для Полесья Украины — зоны, занимающей четвертую часть территории республики. Академик ВАСХНИЛ Г. А. Богданов привел такие расчеты: чтобы не уменьшалось количество гумуса, на каждый гектар здесь требуется 18 тонн органических удобрений. Но пока поля не получают столько органики, и потому особенно важно рационально распорядиться имеющимися удобрениями.

Недешев гектар, к которому приложили руку мелиораторы. Тем весомее должна быть отдача. Роль науки здесь огромна. Прежде всего нужно обосновать, какие земли, какими способами и для каких отраслей сельскохозяйственного производства улучшать. Для одних уго-

дий достаточны культуртехнические работы, другие ждут осушения, третьим требуется орошение, четвертым — двойное регулирование водного режима, то есть осушение в сочетании с орошением.

Что прежде всего размещать в этой зоне на мелиорированных площадях? Научные расчеты показывают — сенокосы, пастбища и кормовые культуры на пашне. В 11-й пятилетке для них предполагается отвести каждые семь гектаров из десяти осушенных и орошаемых в зоне. На последних в основном будут размещены плантации овощных культур.

С вводом в действие гидромелиоративных систем забота о мелиорированных гектарах лишь начинается. А дальше нужно прокладывать дороги, строить склады, хранилища и т. д.

Однако, к сожалению, и мелиорированные земли далеко не всегда оправдывают ожидания. И здесь свое слово должны сказать почвенные биологи. Лишь они могут определить, какими микроорганизмами и животными надо заселить мелиорированные почвы, чтобы обеспечить эффективно действующий круговорот биогенных элементов, утилизацию мертвой органики, чтобы помешать размножению вредителей и создать благоприятные условия для организмов-почвообразователей. Биологическая мелиорация почвы должна, следовательно, идти рука об руку с агромелиорацией.

Один из проверенных путей повышения биологической активности почвы — улучшение ее механического состава, известкование, внесение природной, накопленной в болотах и озерах органики, особенно торфа и сапропеля.

Наши пресные озера богаты жизнью. Многочисленные растения стелются по поверхности воды, пронизывают всю ее толщу, скапливаются клубками на дне. В грунте и в воде обитают мириады существ. Каждую осень значительная часть растений и животных умирает и опускается на дно. Сюда же попадают сносы с берегов. И здесь, на дне, в результате сложного и длительного биохимического процесса образуется ценнейший природный концентрат — сапропель.

Часто сапропели путают с донными илами. Но эти отложения различны и по составу, и по своим свойствам. Донные илы — это все, что сносится в водоем с берегов и откладывается по течению рек, ручьев, сильно проточных озер. Сапропели же образуются только в озерах,

стоячих или со слабыми течениями. Встречаются озера, где на дне откладываются и илы, и сапропели. В донных илах обычно содержится до 15 процентов органических веществ, в сапропелях же — до 96. Различны и физические свойства. Высохший донный ил рассыпается в порошок, высушенный сапропель превращается в камень. Если влажный сапропель проморозить, а затем высушить, он становится рассыпчатым.

Запасы сапропеля в нашей стране велики. По прогнозам ученых, в озерах РСФСР накоплено 230 миллиардов кубических метров сапропеля (из них в Нечерноземье — 50), в Литве — 10,5, Эстонии — 3,5, Белоруссии — 3, Латвии — 2,5, в украинских озерах — 0,5. Есть сапропель и в Колхидской низменности.

Он очень ценен как удобрение (кстати, его вносили на поля еще в средние века), так как содержит почти все необходимые для развития растений вещества. Он применяется и в ветеринарии. Некоторые виды сапропелей пригодны как минерально-витаминная подкормка для всех видов сельскохозяйственных животных. Для всего этого хозяйству требуется сравнительно немного сапропеля — десятки, в крайнем случае, сотни тонн.

В значительно больших объемах сапропели используются сейчас для улучшения малопродуктивных и бросовых земель при очистке заиленных водоемов. Выгода здесь двойная: обновляется озеро, практически потерявшее свою ценность, и вовлекаются в хозяйственный оборот малопродуктивные и бросовые земли, расположенные вдоль берегов.

Еще одна активно разрабатывающаяся наукой область — биологическая фиксация азота, изучением которой много занимался почвенный микробиолог академик Е. Н. Мишустин.

Издавна ученые полагали, что существует всего несколько видов бактерий, усваивающих азот из воздуха. За последние 10—15 лет такая способность обнаружена у многих самых различных микроорганизмов. Следовательно, если агротехника сумеет учитывать «интересы» этих мельчайших существ, их многочисленная рать будет исправно работать на урожай, пополняя запасы азота.

В почве есть и разнообразные свободноживущие азотфиксирующие микроорганизмы, которые также благотворно действуют на ее плодородие.

При сегодняшней структуре посевных площадей в СССР клубеньковые бактерии, сожительствующие с бобо-

выми культурами на пашне, усваивают около 2,3 миллиона тонн атмосферного азота. Половина его идет в урожай, а другая половина с пожнивными и корневыми остатками запахивается в почву. Свободноживущие азотфиксаторы на каждом гектаре связывают в среднем 15—20 килограммов молекулярного азота в год. Следовательно, на всей пахотной площади страны фиксируется — если ориентироваться на минимальную цифру в 15 килограммов — около 3,4 миллиона тонн. Таким образом, общий вклад «биологического» азота доходит до 5,7 миллиона тонн. Это близко к тому, что дает полям промышленность. Конечно, выпуск минеральных удобрений будет нарастать. Но если усилить внимание к бобовым культурам, то поступление «биологического» азота можно в недалеком будущем увеличить в 1,5—2 раза.

Однако судьба поступающих в почву органических и минеральных азотсодержащих веществ неодинакова. Органические соединения азота, находящиеся в корневых и пожнивных остатках бобовых растений (около 1,2 миллиона тонн) минерализуются постепенно. Урожай следующего года использует около трети их. За последующие два-четыре года минерализуется и становится доступным растениям еще 20 процентов азота растительных остатков.

Азот, который усваивается свободноживущими микроорганизмами (около 3,4 миллиона тонн), накапливается в почве постепенно, в течение вегетационного периода, и может быть использован растениями лишь после отмирания микробов, процесса также постепенного. Этот источник азота — своего рода аккумулятор почвенного плодородия, за вегетационный период растениям становятся доступными от шести до десяти процентов ассимилированного свободноживущими микробами азота.

Вернемся снова к бактериям, образующим клубеньки на корнях бобовых культур. Долгие годы считалось, что вне организма растения они фиксировать молекулярный азот не могут. Новейшие исследования с абсолютной точностью установили, что это не так. Выяснилось также, что, хотя они избирательно относятся к растениям (предпочитают корни только сои или клевера, люцерны или люпина), их можно заставить поменять «хозяина».

Сейчас в Институте микробиологии Академии наук СССР развернуты исследования по экспериментальной селекции клубеньковых бактерий. Выведены культуры микроорганизмов, наиболее эффективно «сотрудничаю-

щих» с люцерной. Обрабатывая ими семена перед посевом, удавалось получать высокие урожаи зеленой массы.

Предпосевное «заражение» семян бобовых растений соответствующими микроорганизмами (эту операцию называют нитрагинизацией) имеет чрезвычайно важное значение: урожаи поднимаются на двадцать и более процентов. Если же в почве нет соответствующих клубеньковых бактерий, то без обработки семян вообще нельзя вырастить бобовую культуру. Мало того, сейчас накапливаются данные, что в результате нитрагинизации растения становятся более устойчивыми к заболеваниям, лучше переносят неблагоприятные условия.

Трудно переоценить роль клубеньковых бактерий и их «хозяев» — бобовых культур в повышении плодородия и улучшении структуры почв, в уменьшении вредных воздействий азотных удобрений на природу. Однако нитрагин — препарат клубеньковых бактерий для предпосевной обработки семян — выпускается у нас в очень малых количествах. Сама жизнь, развитие техники, состояние среды требуют уделить большее внимание посевам бобовых и расширению производства нитрагина.

В сельском хозяйстве сейчас ставится задача расширить посевы и значительно увеличить производство бобовых — особенно зернобобовых — культур, богатых белком. Если зерно злаков содержит его обычно 9—12 процентов, то бобовых — от 20 до 40 процентов, а иногда и больше. Втрое богаче белком и стебли этих растений. Легко усвояемый белок бобовых содержит ряд незаменимых аминокислот.

Стоимость же этого белка невысока. По примерным подсчетам, производство одной его тонны обходится в 150—200 рублей, а белка зерновых — 500—700. Для сравнения: тонна микробного кормового белка, производимого промышленностью, сейчас обходится приблизительно в 1000 рублей, хотя при совершенствовании технологии затраты можно существенно снизить. Бобовые культуры не только обеспечивают себя азотными соединениями, но и накапливают их в почве в составе удобряющих ее растительных остатков.

Пока еще посевы и производство бобовых у нас явно недостаточны. Они занимают лишь 11 процентов пахотной площади (в США — 26 процентов).

Значение бобовых в кормовом рационе у нас пока невелико. Растениеводство страны дает около 63 миллионов тонн белка в год, из них на долю бобовых культур при-

ходится 11 миллионов. Из всего производимого белка примерно 6 миллионов тонн идет в пищу, около 48 миллионов тонн скармливается животным. В основном же скот у нас кормится злаковыми культурами, бедными белком.

На передний план все больше выдвигается биология сельскохозяйственных растений и животных. В агрономической науке происходит сейчас крутой поворот. Если раньше ученых интересовали главным образом методы возделывания растений, которые обеспечили бы наилучший урожай (правильный способ размещения посевов, сроки высева, обработка почвы, технологические операции по ее возделыванию, время уборки, переработки и т. д.), то теперь положение иное. С развитием генетики и селекции стало возможным направленно выводить сорта, обладающие невиданными ранее свойствами, и прежде всего сорта, чья продуктивность резко возрастает, если улучшить условия минерального питания.

Другая задача, ждущая своего решения и требующая объединения усилий представителей разных наук, — изучение физиолого-биохимической сущности тех процессов, которые позволяют достичь максимально возможных урожаев. То, как различные сорта реагируют на минеральное питание, зависит, судя по всему, от генетических свойств растений, от их наследственной программы. Реализуется эта программа на разных уровнях организации клеток и организма в целом (проницаемость клеток корня, скорость и эффективность фотосинтеза в клетках зеленого листа, эффективность перемещения веществ по растению, уровень ферментных систем, ведущих синтез нужных человеку веществ — белков, жиров, углеводов и т. д.).

Каждый из этих уровней изучается сейчас представителями разных дисциплин. Но только объединенными усилиями селекционеров и генетиков, с одной стороны, и агрохимиков, физиологов, биохимиков, специалистов по защите растений — с другой, можно будет создать продуктивные сорта, способные с высокой эффективностью использовать солнечную энергию и питательный режим высокоокультуренных почв и давать урожаи — для пшеницы 100—120—150 центнеров с гектара, для кукурузы — 130—150 центнеров.

Здесь резко возрастает роль молекулярной биологии, так как принципиальное улучшение растений возможно только с помощью молекулярно-генетических методов —

введения в геном растения фрагментов наследственной программы, определяющей лучшее усвоение элементов питания, выработку заданных человеком веществ.

По-прежнему требует особого внимания проблема повышения плодородия почвы. Ведь если, например, хотят удвоить урожаи, то необходимо удвоить и интенсивность круговорота веществ. Добиться этого можно, увеличив внесение органических и минеральных удобрений. При этом обнаруживается, что первые зависят от вторых. С ростом минеральных удобрений будет повышаться урожайность, усиливаться обмен веществ в почве, увеличиваться количество кормов, возрастет продуктивность животноводства и как побочный продукт животноводства увеличится количество органических удобрений.

Биология почв помогает понять механизм регулирования биогенного круговорота, превращения минерального питания в органическую массу растений. Ведь плодородие почвы определяется не только динамикой питательных веществ, вносимых в почву, но и обменом веществ, совершающимся в самой почве благодаря биологическим процессам. И для того чтобы это развитие проходило в оптимальном режиме, надо, чтобы почва имела хорошие физико-химические свойства, имела, скажем, агрономически оптимальную структуру, оптимальный водный режим.

Преимущества социалистической системы ведения сельского хозяйства, многофакторная стратегия интенсификации агропромышленного комплекса служат предпосылкой рационального использования природных ресурсов, прогрессивных форм организации производства, достижений науки и техники, а следовательно, и значительного повышения, пользуясь словами К. Маркса, эффективного плодородия земли.

Агроценоз построен человеком

В последние два десятилетия ученые активно работали над созданием принципиально новых биосистем, не имеющих аналогов в природе. Речь идет главным образом о гидропонике и о биотехнологии выращивания микробов. Реальная задача, которую перед собой ставит микробиологическая промышленность, — ликвидировать тот хронический белковый дефицит, который почти во всем мире свойствен кормам домашних животных. В среднем

он составляет около четверти необходимого белка в рационе скота, а такие отрасли животноводства, как птицеводство или продуктивное рыбное хозяйство, вообще невозможны без обеспечения высокобелковыми кормами. Именно здесь надежды связываются с микробиологической промышленностью, цель которой — выращивание микробов — продуцентов белка (дрожжей, водорослей, грибов, бактерий) — в заводских условиях.

Выращивая микробы на отходах сельскохозяйственного производства (солома, ботва, другие неиспользуемые части сельскохозяйственных растений), производства спирта, целлюлозы, молочных продуктов и т. д., получают микробную биомассу, исключительно богатую белком, витаминами, ферментами. Достаточно сказать, что килограмм всем известных сухих пищевых дрожжей содержит столько же белка, сколько 3 килограмма мяса. Сегодня в нашей стране микробиологическая промышленность ежегодно вырабатывает около миллиона тонн дрожжей, свыше 100 видов других продуктов.

Промышленная микробиология действует в содружестве с биоорганической химией, биофизикой, физиологией человека, животных и микроорганизмов, молекулярной биологией и генетикой. Прочный сплав этих наук с микробиологическим и биохимическим производством и составляет основное содержание того нового явления, которое получило обобщенное название биотехнологии.

«Эта область, — говорил президент Академии наук СССР А. П. Александров на XXVI съезде КПСС, — в ближайшие годы станет играть особенно важную роль — уже осуществляется производство многих видов лекарственных препаратов, кормовых и пищевых веществ, новых видов соединений, синтезирующихся пока только в живых организмах».

Индустрия живых клеток призвана превратить микробов в производителей продуктов в огромных количествах — не в граммах и килограммах, а в тысячах, сотнях тысяч и даже миллионах тонн — в этом и заключается принципиальная новизна производства пищевых продуктов без традиционного сельского хозяйства.

В нашей стране вступают в строй все новые крупные заводы микробиологического синтеза. Можно только удивляться тому, что все это огромное богатство человек создает при помощи мельчайших существ — микробов. Не менее поразительно и другое. Большинству микробиологических предприятий, которые выращивают и вскарм-

ливают миллиарды микроскопических живых организмов, в основном не требуются для этого ни пищевые, ни кормовые продукты сельского хозяйства. Напротив, микробиологическая промышленность в качестве сырья для производства ценнейших кормовых и пищевых веществ использует такие ресурсы солнечной энергии, глубоко законсервированные в природе в виде соединений углерода и водорода, которые никогда ранее в истории человечества не использовались для подобных целей.

В конце 1963 года начали действовать первые опытные, а затем и опытно-промышленные установки по производству дрожжей на очищенных жидких парафинах нефти. Установлено, что дрожжи, выращиваемые на углеводородах нефти, по своему составу и благотворному действию на животных не уступают, а даже превосходят дрожжи, вырабатываемые из сахаров растительного сырья (гидролизатов древесины, сульфитных щелоков, мелассы).

Новые перспективы открывает перед человеком и широкое использование гидропоники — выращивание сельскохозяйственных растений на полностью искусственной питательной среде, зачастую в условиях искусственного подогрева и искусственного освещения. Такое круглогодичное, круглосуточное выращивание растений автоматизировано, оно не зависит от почвенных и климатических условий, оно может развиваться далеко на Севере или среди пустыни, где погодные условия исключают выращивание растений под открытым небом. На практике это выглядит так. В бетонные лотки, заполненные не почвой, а мелкими камешками или пластмассовыми шариками, по трубам к корням растений автоматически поступает питательный раствор, затем раствор откачивается и к корням периодически поступает кислород.

Гидропоника знаменует собой качественно новый этап развития тепличного хозяйства и позволяет выращивать овощи, ягоды, некоторые кормовые культуры в многоярусных теплицах, которые можно размещать и на верхних этажах больших зданий в городах. Так что и в городе можно будет получать сельскохозяйственную продукцию и обеспечивать круглый год население луком, огурцами, помидорами, перцем и другими овощами. В целом гидропонные методы позволяют получать урожаи в пять раз большие, чем дают на юге лучшие поливные почвы.

Очевидно, что такие теплицы обходятся недешево. Но

не мешает вспомнить, сколько гибнет овощей за зиму в хранилищах, сколько на долгих дорогах, особенно за Полярный круг, сколько «дарового» тепла пропадает на заводах и электростанциях. А главное — насколько свежие овощи и фрукты круглый год улучшают самочувствие человека, особенно там, куда зимой их доставлять трудно!

«Расширять тепличное хозяйство, особенно с использованием тепловых отходов промышленных предприятий» — такая задача поставлена в Основных направлениях экономического и социального развития страны. Один из главных «поставщиков» этих отходов — энергетика, тепловые и атомные электростанции. Известно, что потребление энергоресурсов в современном мире быстро увеличивается. Однако коэффициент использования тепла остается низким — в целом по промышленности он сегодня не превышает 30 процентов. Тепловые отходы — это не только досадный с точки зрения расхода топлива, но и вредный фактор, получивший название теплового загрязнения окружающей среды.

Если многим промышленным предприятиям низкотемпературное тепло использовать трудно, то ряду отраслей сельскохозяйственного и биологического производств, напротив, такое тепло и необходимо для нормальной работы. Мы просто еще не научились использовать такой ресурс, как отходы АЭС и других энергопредприятий.

Расчеты показывают, что выигрыш от использования сбросного тепла можно значительно повысить, если отходы одной отрасли (цеха) сделать «сырьем» для другой.

Тремя научными учреждениями — ВНИИ прикладной молекулярной биологии и генетики ВАСХНИЛ, институтами Гидропроект имени С. Я. Жука, Московским архитектурным — разработана модель и предложен проект мощного энергобиологического безотходного комплекса при АЭС, полностью работающего на сбросном тепле.

Что представляют собою отдельные элементы комплекса?

В первую очередь это теплицы. Растениеводство в закрытом грунте позволяет увеличить продуктивность используемой для этого земельной площади. Чтобы удовлетворить потребность населения нашей страны в ранних овощах, необходимо как минимум 30 тысяч гектаров теплиц (несколько более квадратного метра на каждого человека). Но чтобы обогреть эту площадь, нужно было бы ежегодно сжигать около 50 миллиардов кубометров

природного газа. Цифра огромная и, признаться, нереальная. А ведь надо выращивать под стеклом не только ранние овощи, но и другие культуры.

Сегодня, чтобы получить в теплицах нужную для развития растений температуру, в качестве теплоносителя используют воду, нагретую приблизительно до 90 градусов, а основной системой обогрева служат трубопроводы. Затраты на нее (а это 40 километров труб на каждом гектаре) вместе с котельной достигают 40 процентов затрат на сооружение тепличных комбинатов, а расходы на обогрев — половины себестоимости тепличной продукции.

Перспективы использования сбросного тепла побуждают разрабатывать конструкции принципиально новых теплиц: высотных, с обогревом от сухих градирен, гидротеплиц и теплиц-градирен. В последних теплую воду пропускают по их крыше, и, охлаждаясь, она обогревает теплицы и возвращается к энергоагрегатам. Даже зимой температура воздуха в теплицах остается всего на 1—3 градуса ниже, чем у обогревающей их воды.

Расчеты показывают, что отходов тепла обычных и атомных электростанций, а также промышленных предприятий страны достаточно для обогрева не менее 300 тысяч гектаров теплиц. Климатические условия в них будут сродни субтропическим, подчас даже лучше — ведь чаще всего в наших субтропиках невозможно выращивать без укрытия даже неприхотливые виды и сорта цитрусовых. Кроме традиционных овощных, в теплицах можно будет призводить немало других ценных растений — таких, как цветочные и ягодные, лекарственные. Часть этой площади можно использовать, причем с высокой отдачей, для ускорения процесса селекции и семеноводства сельскохозяйственных растений.

Орошение теплыми водами открытого грунта даст возможность повысить урожайность культур по сравнению с обычным орошением на 20 процентов и более, а главное — продлить вегетационный период.

Сегодня достижения биологической науки, в том числе использование почвенных микроорганизмов, позволяет не только получать и перерабатывать пищевые продукты или корм для скота, они находят применение и в новых, подчас неожиданных областях. Почвенная микробиология породила не только биотехнологию, но и промышленную биоэнергетику.

Напомним, что Энергетическая программа СССР пре-

дусматривает на первом этапе создание материально-технической базы для широкого использования нетрадиционных источников энергии, в том числе энергии биомассы.

Понятие «биомасса», как известно, охватывает все вещества растительного и животного происхождения, продукты жизнедеятельности и органические отходы, образующиеся в процессе их обработки. Частично она используется в качестве кормов и продуктов питания, строительного материала, сырья для промышленности, а также в энергетических целях — путем прямого сжигания или с помощью переработки с получением спиртов и биогаза. Общее количество биомассы, ежегодно образующейся на планете, в несколько раз превышает суммарную годовую мировую добычу нефти, газа и угля.

Производство и переработка продукции сельского хозяйства дают массу отходов: навоз, солома и т. д. Нередко они либо вообще не идут в дело, либо употребляются неэффективно. В городах очень велико количество жидких стоков и твердых отходов. Органические отходы в изобилии появляются при лесозаготовках, лесопилении, деревообработке. Правда, на их базе (но это лишь небольшая их часть) развернуто довольно крупное микробиологическое производство этилового спирта и кормовых дрожжей.

Получать топливо из биомассы можно двумя способами — с помощью термотехнических процессов или путем биотехнологической переработки. К последнему относятся анаэробное сбраживание с выходом биогаза, а также гидролиз с получением этилового спирта или кормовых дрожжей, биоводорода и ряда других продуктов. Отечественный и зарубежный опыт показывает, что наибольшую перспективу открывает биологическая переработка органических веществ в биогаз. Он состоит из 50—70 процентов метана и 30—50 процентов окиси углерода. Его теплотворная способность составляет 4300—6000 килокалорий на кубический метр, что эквивалентно 0,6—0,8 килограмма условного топлива.

Брожение тонны органического вещества дает от 350 до 500 кубических метров биогаза. Процесс протекает непрерывно в реакторах (метатенках) объемом от нескольких кубометров до нескольких тысяч кубометров при температурах от 30 до 35 градусов Цельсия.

Безусловное достоинство такого способа — возможность использовать остаток органического вещества, обра-

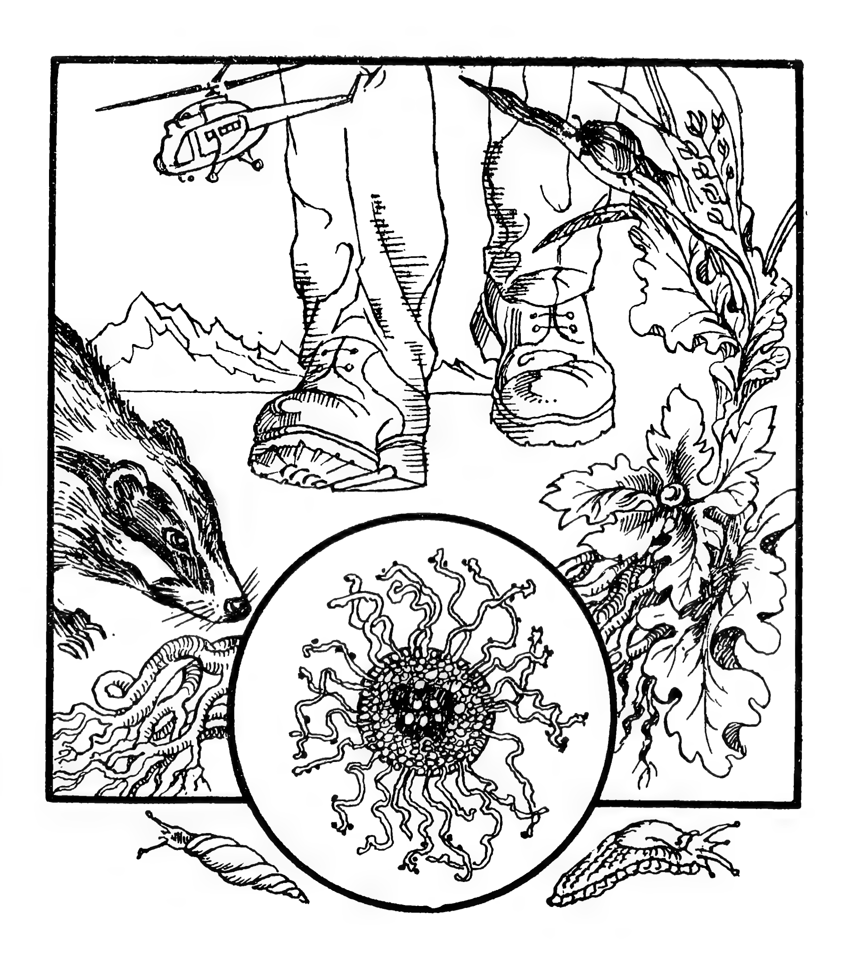
зующегося в реакторах. Это обеззараженное, без запаха удобрение, для растений более ценное, чем обычный навоз.

На различные технологические нужды в сельском хозяйстве ежегодно расходуется около 50 миллионов тонн условного топлива. Если учесть, что в 1986—1990 годах намечается построить несколько сотен свинокомплексов с годовым откормом многих миллионов свиней, то общий выход жидкого навоза составит в год десятки миллионов кубических метров. Из него можно получить до 1,5 миллиарда кубометров биогаза (что эквивалентно 1 миллиону тонн условного топлива), а кроме того — высококачественные удобрения, содержащие азот в виде аммония (200 тысяч тонн), окись фосфора (61 тысячу тонн), окись калия (84 тысячи тонн).

Предполагается также построить сотни комплексов крупного рогатого скота с откормом более 4,5 миллиона голов. Расчеты показывают, что только благодаря реализации отходов животноводческих комплексов и птицефабрик путем биологической конверсии можно получить дополнительно более 4 миллионов тонн условного топлива (50 процентов биогаза идет на поддержание процесса брожения), а также высококачественные удобрения в количестве, эквивалентном 3 миллионам тонн в пересчете на обычное минеральное удобрение.

Таковы лишь некоторые из направлений, по которым идет поиск принципиально новых решений, связанных с использованием биологических ресурсов и повышением их качества.

Почвенные животные предупреждают об опасности



Открытие атомной энергии и использование ее безграничных запасов — одно из самых выдающихся достижений науки XX века. Но успехи ядерной энергетики стали и источником серьезной и все растущей озабоченности во всем мире. И дело не только в угрозе атомной войны, способной вообще уничтожить человечество. Огромную опасность представляет и загрязнение биосферы радиоактивными веществами. Вызвано оно рассеиванием в атмосфере, в морях и океанах продуктов радиоактивного распада, проникновением их в почву и накоплением в сельскохозяйственной продукции и промысловых рыбах.

Радиоактивное загрязнение довольно просто и оперативно устанавливают приборы. Но практика показала, что как бы точны они ни были, только биологические индикаторы (растения, животные, микроорганизмы) позволяют перевести физические и химические показатели в величины, имеющие биологический смысл, то есть получить ответ на основной вопрос: пригодна ли та или иная среда для жизни человека.

Как влияет радиация на клетки, ткани и целые живые организмы, каковы методы защиты от нее — этим занимается молодая наука — радиобиология. Одно из ее направлений — радиоэкология. Ее задача — анализ концентрации радионуклидов, изучение закономерностей изменения сообществ и популяций организмов, обитающих в условиях повышенной радиации.

Почвенные животные исключительно благодарный объект для радиоэкологических исследований: многие из них весьма чувствительны к действию радиации, в пищевых цепях они часто являются конечными звеньями и могут концентрировать радионуклиды. Животное население почв регулирует численность вредителей леса, что особенно важно в лесных районах, подвергшихся действию радиации. Тесная связь существует и между степенью радиоактивного загрязнения почв и экологией сельскохозяйственных вредителей в этих почвах. Наконец, почвенные животные — удобнейший биоиндикатор радиоактивного загрязнения территорий, так как численность их велика и достигает многих сотен тысяч особей на один квадратный метр, а характер питания фитофагов, сапрофагов и хищников достаточно постоянен, что позволяет установить пути и количественные закономерности миграции радионуклидов в биогеоценозе.

Почвенная фауна — наименее миграционная часть зооценоза, именно она теснее всего контактирует с радио-

активными загрязнениями и естественными радионуклидами, поскольку на суше все загрязнения, как радиоактивные, так и химические, рано или поздно попадают в почву.

Почвенная фауна и миграция нуклидов

Необходимость разработки биологических мер борьбы с возможными радиоактивными загрязнениями суши заставляет с особым вниманием отнестись к проблеме регулирования и направленной перестройки животного населения почв, изысканию путей интенсификации биологического круговорота веществ с помощью животных для связывания подвижных соединений радионуклидов и локализации очагов загрязнения в условиях естественных природных экосистем.

Одной из форм воздействия на очаг загрязнения могло бы быть расселение и создание условий для массового размножения таких почвенных животных, как кивсяки, которые в значительных количествах накапливают соли кальция и стронция, потребляют растительный опад (а он является одним из самых загрязненных искусственными радионуклидами горизонтов почвы) и в то же время не служат сами пищей для птиц, млекопитающих и хищных насекомых. Поэтому кивсяки могут быть эффективным депо таких радионуклидов, как стронций-90.

Как правило, больше радиоактивного стронция накапливают животные, которые откладывают кальций в покровах для увеличения их прочности — почвенные моллюски, кивсяки, мокрицы. Эти животные с успехом могут использоваться в качестве биоиндикаторов загрязнения среды стронцием-90. В восточной Украине кивсяки и виноградные улитки накапливали этот радионуклид в 100 раз больше, чем его содержалось в дубовом опаде — пище этих животных.

Учитывая, что стронций-90 прочно связывается почвами и не весь включается в круговорот, можно предполагать, что зоогенная, то есть определяемая животными, миграция этого изотопа, во всяком случае, сравнима с вымыванием дождевыми водами или разносом ветром из биогеоценоза. Наибольшее значение здесь имеют почвенные миграции.

Обратимся теперь к другому загрязнителю — цезию-137. Интерес к этому элементу обусловлен не только

тем, что это долгоживущий радионуклид (период полураспада — 29 лет) и один из основных агентов радиоактивного загрязнения биосферы. Существенно то, что миграция цезия-137 по трофическим цепям к человеку происходит через животных, через пищевые продукты животного происхождения: молоко, мясо, молочные продукты. Известно, что химически цезий близок калию, с которым и мигрирует по пищевой цепи. Подвижность цезия-137 в круговороте уменьшают микроорганизмы, которые связывают до 60 процентов изотопа, давая ему выщелачиваться из лесной подстилки. Видимо, важную роль в биогенной миграции цезия-137 должны играть почвенные грибы, в золе которых может содержаться до 45 процентов калия.

Освобождению этих элементов, их вовлечению в биогенный круговорот способствует деятельность почвенных животных, которые разрушают мертвую органику, частично ее перерабатывают и переваривают значительную часть микробной биомассы, переводя зольные элементы в подвижное, доступное высшим растениям состояние, как это было выяснено А. Д. Покаржевским в СССР, Д. Кроссли и М. Виткэмпом в США.

Радиоэкологическая обстановка для животных резко осложняется, если они постоянно обитают на участках с повышенным содержанием естественных радионуклидов. В таких условиях отмечено резкое повышение концентрации радия позвоночными животными (в 6—132 раза), в меньшей степени урана (0,3—12 раз), содержание тория не повышается. Особенно много радионуклидов накапливали грызуны, которые постоянно заселяли эти участки.

В пределах одного наземного биоценоза могут оказаться виды животных, сильно различающиеся по степени контакта с загрязненными участками, а следовательно, и с ионизирующим излучением. По этому признаку различают животных, случайно контактирующих с загрязнением, временно или постоянно. Но и при постоянном тесном контакте у животных, обитателей одной и той же территории, степень контакта неодинакова.

В СССР обстоятельно исследовали действие естественного радия-226 на комплексы почвенных животных. Изучаемые участки были невелики (1—2 гектара) и расположены на надпойменной террасе с луговой растительностью в подзоне средней тайги. Повышенный фон образовался из-за разлива подземных пластовых вод с повы-



шенным содержанием радия. Четкие различия были обнаружены для всех массовых групп почвенных животных, которые развиваются долго и относительно малоподвижны, то есть постоянно обитают на участках с повышенным фоном радиации. Численность всех этих групп была на таких участках явно ниже, чем в контроле (объектами исследования являлись дождевые черви, личинки двукрылых и жуков-щелкунов). Меньшей оказалась и общая заселенность почвы беспозвоночными.

Интересно, что особенно заметное угнетение испытывали дождевые черви. На участках с повышенным фоном радиации не только ниже была их численность, но и мельче размеры и наблюдалась задержка в развитии.

Таким образом, наибольшему воздействию радиации подвержены оседлые, длительно обитающие на участках

с повышенным радиоактивным фоном группы животных, у которых наблюдается задержка развития и нарушения в функции эпителия поверхности тела и кишечника.

Действие радиации на почвенных животных хорошо прослеживается не только на участках, где уровень ее высок, но и там, где он низок, по-видимому, из-за больших дозовых нагрузок на почвенных животных по сравнению с наземными. Особенно удобным объектом для изучения можно считать дождевых червей, вероятнее всего, по той причине, что они облучаются не только извне, но и от почвы, которую заглатывают. У всех остальных наземных животных пища растительного или животного характера, в которой содержание естественных радионуклидов в 10—100 раз ниже, чем в почве.

Радиоактивное загрязнение среды и жизнь в почве

Опыты с облучением естественных, не нарушенных образцов почвы дозами 2,5—5 мегарад от кобальтового источника и в атомном реакторе подтвердили полную стерилизацию почвы, а также глубокие нарушения ее химического состава: содержание аммония в гумусовом слое облученной почвы возросло более чем в десять раз, и он в больших количествах появился в минеральном слое, где ранее полностью отсутствовал. Количество нитратов увеличилось преимущественно в минеральном слое почвы.

Микроорганизмы довольно быстро заселяли возвращенные в поле стерилизованные образцы, так что через девять дней те практически сравнялись с контролем и затем в течение двух месяцев заметно не отличались от контроля. Микроартроподы заселяли образцы значительно медленнее, через две недели встречались единичные особи, а через два месяца заселенность все еще сильно отставала от контрольной, особенно в образцах, где было мало грибов. При хроническом облучении леса в Брукхевене (США) отклонений в разложении лесной подстилки не наблюдали.

Показателем биологической активности почвы может считаться «почвенное дыхание» — количество выделяемого с единицы поверхности углекислого газа. Когда почву подвергали острому облучению от мощного кобальтового источника дозой 800 и 2500 килорад, почвенное дыхание в обоих случаях резко сократилось. Наблюдения за микроорганизмами через шесть недель после облуче-

ния показали, что численность их резко упала. После хронического облучения дозой 800 килорад численность бактерий сократилась в почве почти в 40 раз по сравнению с контролем, грибов — в 6 раз. Острое облучение при 800 килорад вызвало падение численности бактерий в 2,5 раза, грибов — в 10 раз; при 2500 килорад бактерии исчезли вовсе через шесть недель.

Для изучения экологических последствий лучевых воздействий на естественные ценозы в условиях средней полосы СССР проводился многолетний эксперимент с острым гамма-облучением сосново-березового леса дозами 7—25 килорад.

Для эксперимента выбрали участок леса, однородный по видовому составу и почвенным условиям, с равномерным распределением одновозрастных деревьев по площади.

Этот эксперимент — пока единственный, позволивший изучить воздействие гамма-облучения леса на почвенную фауну. На облученном участке произошли изменения в структуре мезофауны: более чем в пять раз сократилась численность дождевых червей. В результате на опытном участке преобладающей группой стали насекомые, в то время как до облучения и в контроле преобладали дождевые черви.

В слое почвы от 0 до 20 сантиметров на контроле заселенность животными была в 1,5—3 раза выше, чем на облученном участке.

Обеднение почвенной фауны в глубоких горизонтах отмечено при всех формах действия ионизирующих излучений на биогеоценоз. Объяснить этот факт можно следующими причинами: в глубине почвы сравнительно больше, чем на поверхности, преимагинальных, а следовательно — гораздо более радиочувствительных стадий животных; поверхностные слои после облучения легче заселяются извне; глубокопочвенные виды менее плодовиты, чем поверхностные, и медленнее восстанавливают численность популяций. Даже через два года не восстановили численности дождевые черви — основная группа беспозвоночных, пострадавших от облучения. Комплекс микрофауны, хотя и пострадал от одноразового сильного облучения, общего угнетения не испытал и довольно быстро стал восстанавливать свою первоначальную структуру. И происходило это за счет «внутренних ресурсов» комплекса, а не за счет миграции животных извне, с необлученных территорий.

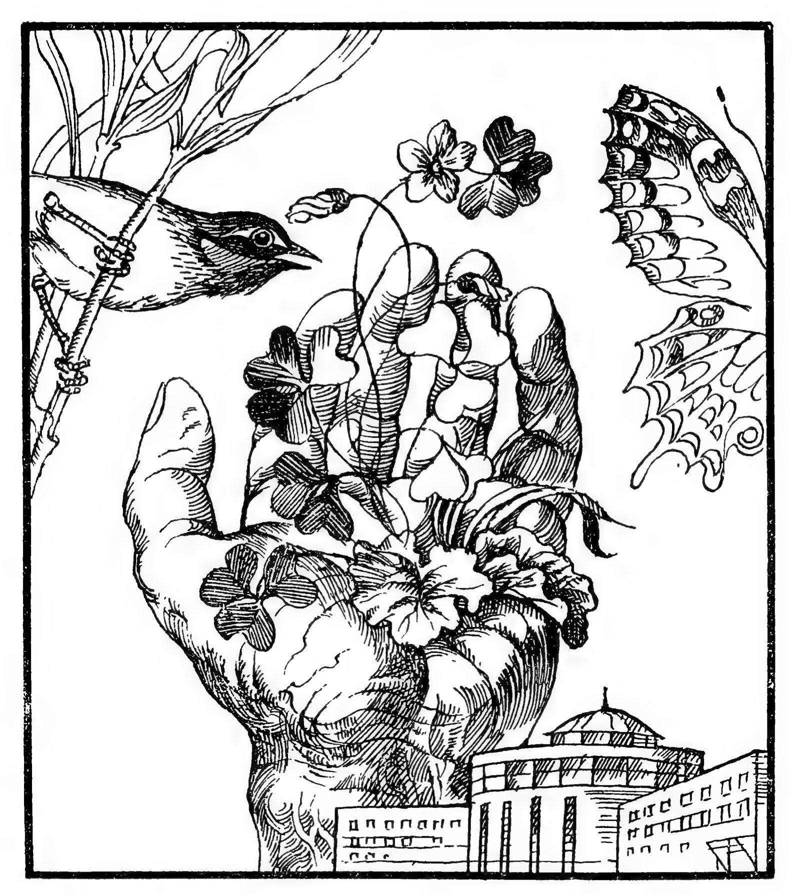
В СССР проведены многочисленные эксперименты с загрязнением почв искусственными радионуклидами и последующим изучением экологии почвенных животных, они позволяют решить прикладные вопросы и лучше уяснить, каковы плодовитость, продолжительность жизни, интенсивность обмена, химический состав, трофические связи животных. Обширный материал собран и по экологии микроорганизмов, развитию корневых систем растений в условиях повышенного фона ионизирующей радиации. Фактически сформировалось новое направление — радиобиология почвы, и здесь очень велик вклад советских исследователей: дозиметристов, почвоведов, биологов.

Приступая к изучению воздействия ионизирующих излучений на животное население почвы, ученые не могли предвидеть всего того, с чем придется встретиться в процессе полевой работы. Сложность усугублялась тем, что наземные беспозвоночные — организмы весьма радиоустойчивые во взрослом состоянии. Радиочувствительность насекомых, дождевых червей, мокриц, паукообразных составляет 50—200 килорад, что значительно выше, чем у растений.

Поскольку содержание стронция-90 в надземной части насаждений значительно меньше, чем в почве, дозы облучения животных, обитающих в верхних ярусах леса, оказываются значительно ниже, чем почвенных обитателей. Но и в почве эти дозы не настолько велики, чтобы оказывать непосредственное воздействие на беспозвоночных, особенно в личиночной и взрослой стадиях. Тем не менее они все же снижают численность популяций многих видов.

Это можно объяснить тем, что ряд видов лесных насекомых, а также представителей микро- и мезофауны, зимует в почве в стадии яйца, то есть в наиболее радиочувствительной эмбриональной стадии. Если принять во внимание, что облучение в этом случае продолжается в течение нескольких месяцев, доза облучения, накопленная за это время, могла составить в наших экспериментах 200—300 рад, то есть довольно значительную величину. При облучении в лабораторных условиях, как известно, дозы облучения от нескольких сотен до нескольких тысяч рад приводят к стерильности самцов и самок насекомых и гибели яиц.

На лесных участках, загрязненных стронцием-90, численность мезофауны сократилась более чем в два раза. Но более всего (в 10—100 раз) сократилась численность



дождевых червей и многоножек (губоногих и двупарноногих) — потребителей мертвого растительного опада, обитающих преимущественно в лесной подстилке и верхнем слое почвы, где сконцентрирована основная часть радионуклидов. Изменения видового состава — сокращение видового разнообразия — обнаружены и в микрофауне, в частности, в популяциях панцирных клещей.

Сообщества почвенных животных чутко реагируют на повышенный хронический уровень ионизирующей радиации при дозах порядка 0,5—3 рада в сутки. При этом уменьшается видовое разнообразие оседло живущих беспозвоночных, глубина заселения почвы, падает численность. Особенно сильно действие радиации проявляется в период размножения животных. У почвенных беспозвоночных уязвимыми для действия радиации являются ран-

ние стадии жизненного цикла. Ранние стадии развития дождевых червей столь же чувствительны к действию радиации, как и человек.

Взрослые стадии почвенных животных достаточно устойчивы к действию ионизирующей радиации, не уступают по этому показателю лесным и луговым растениям, а нередко в три-пять раз превосходят растения. Но животных «подводит» здесь уязвимость для радиации ранних стадий, их длительный период развития, за который они успевают облучиться значительными дозами радиации даже в условиях малой мощности, но хронического облучения.

Уязвимость почвенной фауны усиливается также из-за того, что почва аккумулирует многие радионуклиды, попавшие в биосферу, в том числе стронций-90 и цезий-137, а такие массовые обитатели почвы, как дождевые черви, заглатывая почву при питании, получают немалые дозы облучения и от пищевого комка, что становится особенно важным при загрязнении почв радионуклидами — альфа-излучателями. Велико участие почвенных животных в зоогенной миграции искусственных радионуклидов, главным образом из-за высокой биомассы этих животных и их роющей деятельности.

Увеличить производство сельскохозяйственной продукции, улучшить снабжение населения продовольствием — такова важнейшая задача, стоящая перед нашим народным хозяйством.

Реализация Продовольственной программы СССР во многом зависит от того, как будут складываться отношения земледельца с землей, насколько удастся преумножить ее плодородие в условиях интенсивного производства. И потому так возрастает роль науки в решении сложного комплекса проблем, связанных с сельским хозяйством.

Недалеко то время, когда поле будут не распахивать, а «строить», создавать по особой программе для каждого отдельного региона, для каждой системы земледелия. Но это — в будущем. Пока же речь идет об улучшении качества земель путем глубокой мелиорации, правильного применения удобрений, подбора районированных сортов урожайных сельскохозяйственных растений.

Население растет, увеличивается и потребность в продуктах питания. В двенадцатой пятилетке планируется производить ежегодно 250—255 миллионов тонн зерна, доведя среднюю урожайность до 21—22 центнеров с гектара. Сделать это будет непросто, если учесть, что щедрых от природы земель у нас в стране не так уж много.

Президент Академии наук СССР А. П. Александров, выступая 26 декабря 1984 года на общем собрании академии, посвященном вкладу науки в реализацию Продовольственной программы, призвал поднять на более высокий уровень научное обеспечение важнейших ее разделов. Он отметил, что многие институты уже активно занимаются фундаментальными разработками, направленными на интенсификацию сельскохозяйственного производства и всестороннее развитие агропромышленного комплекса. Но многое еще предстоит сделать, чтобы повысить эффективность мелиорированных земель, обеспечить надежную защиту растений, разработать тщательно проверенные методы обработки семян, ухода за посевами, переработки и хранения сельскохозяйственной продукции.

Все эти вопросы так или иначе связаны с регулированием биологических явлений в почве, интенсификацией или подавлением деятельности почвенных животных и микроорганизмов, управлением ферментативными процессами в почве.

За последние десятилетия в биологической науке произошли коренные изменения. И каждый шаг вперед в развитии науки открывает подчас совершенно неожиданные возможности, новые пути. Один из них — создание микробиологической промышленности, мощной индустрии живых клеток.

Современная научно-техническая революция создает предпосылки для того, чтобы пополнить продовольственные ресурсы продукцией несельскохозяйственного производства.

Стремительное развитие микробиологической промышленности, высокая стоимость основного «производителя» на микробиологических заводах — культур микробов — позволяют предполагать, что в обозримом будущем для нужд народного хозяйства может быть использован почти весь природный генофонд микробов. Хранилищем этого генофонда была и остается почва. В еще большей степени почва служит хранилищем генофонда животных, особенно беспозвоночных, на сегодня пока еще почти не используемых. Но настанет и их время, и их несомненно придется культивировать в промышленных масштабах.

А мы пока далеко не все еще знаем о том мире живых существ, которые заселяют почву. Ежегодно описывают сотни новых, ранее неизвестных почвенных животных. Микробиологи постоянно находят неизвестные микроорганизмы, а в 1977 году было открыто новое царство микробов — архебактерии, которые построены из уникальных белков, жиров, ферментов, полисахаридов, не синтезируемых больше никакими другими живыми организмами. Среди этих простейших существ есть формы, лишенные оболочки, они могут синтезировать тела своих клеток из простейших минеральных соединений углерода, азота, серы, многие из них живут в бескислородной среде. Такие формы, нередко похожие на кусочки битого стекла, несомненно могли жить в условиях, которые существовали на Земле в раннем докембрии. Из этого примера видно, как много мы еще не знаем о почвенных существах. А как можно без знаний управлять этими процессами, как можно поставить их на службу человеку?

Выступления Генерального секретаря ЦК КПСС М. С. Горбачева на апрельском (1985 г.) Пленуме ЦК КПСС, на совещании в ЦК КПСС по вопросам ускорения научно-технического прогресса обращают наше внимание на настоятельную необходимость интенсификации всех производственных процессов в стране, в том

числе и земледелия — основы сельскохозяйственного производства. Плодородные почвы — дело рук человеческих, а для их создания и поддержания нужны знания о биологических явлениях в почве, умение их регулировать.

От специалистов по биологии почв ждут создания оптимальной по биологическим параметрам почвы для выращивания сельскохозяйственных растений. Это предполагает и борьбу с почвенными вредителями и болезнями растений, и регулирование микробиологических процессов в почве, и биологическую мелиорацию почвенной среды, и поддержание ее санитарного состояния.

Почва остается неисчерпаемым источником живых культур, основным хранилищем генетического разнообразия жизни на нашей планете, она же — «экологический щит» биосферы. Именно почвенные организмы обеззараживают вредные органические соединения и патогенную, болезнетворную для человека микрофлору.

Земледелие всегда отражало общий уровень культуры и знаний общества. О плодородии земель заботились во все времена. Но лишь сравнительно недавно осознали, что почва является одной из напряженнейших «арен жизни», что она создана и изменяется в первую очередь благодаря деятельности живых организмов, что о почве можно говорить как о своеобразной биохимической системе.

За всю историю человеческой цивилизации нельзя отыскать ни одного примера создания искусственного плодородного слоя на значительной площади. Может быть, именно поэтому висячие сады Семирамиды в Вавилоне причислили к семи чудесам света: современников, вероятно, поразило то, что благодаря титаническому труду широкие каменные уступы превратились в плодоносящий сад.

Почва формируется на протяжении огромного исторического периода. Века требуются, чтобы образовалось всего несколько сантиметров плодородного слоя. Потерять же их можно за один-два года, если думать только о ближайших конкретных целях и безрассудно эксплуатировать землю, не заботясь о ее сохранении и о последствиях столь энергичной деятельности. Восстановить же разрушенное неимоверно трудно.

После успешных первых лет освоения целинных земель возникли непредвиденные осложнения — пыльные бури: ветер поднимал с полей тысячи тонн земли, пре-

вращая день в ночь, перенося почву на огромные расстояния.

Дело в том, что в Казахстане и степных районах Сибири применили технологию обработки земли, привычную для европейской части страны. Систематическая вспашка отвальными плугами, применение дисковых лущильников и зубовых борон и привели к сильному распылению почвы, нарушению ее стественной структуры.

Усилиями советских ученых, удостоенных Ленинской премии, была разработана почвозащитная система земледелия для районов Сибири и Казахстана. Она предусматривает полосное размещение культур, севообороты с короткой ротацией и обязательным полем чистого пара, внесение фосфорных удобрений. Но главная ее отличительная черта — плоскорезная обработка с оставлением стерни на поверхности почвы. При этом пожнивные остатки предохраняют землю от ветровой эрозии, обеспечивают накопление и сохранение влаги. Эта система внедрена более чем на 40 миллионах гектаров сельскохозяйственных территорий.

Специалисты по биологии почвы при этом отмечают, что безотвальная обработка в гораздо меньшей степени отражается на естественных сообществах организмов-почвообразователей. А именно эти организмы сохраняют, регулируют и преумножают биологический потенциал почвы.

В своем, посвященном интенсификации развития агропромышленного производства выступлении на совещании партийно-хозяйственного актива 7 сентября 1985 года в городе Целинограде Генеральный секретарь ЦК КПСС М. С. Горбачев сказал: «Создание надежной продовольственной базы — задача общепартийная, общенародная. Апрельский Пленум ЦК на этот счет дал четкую, принципиальную установку: реализация Продовольственной программы — дело неотложное, оно требует особого внимания». Особое внимание он уделил необходимости строгого соблюдения технологии выращивания сельскохозяйственных культур, повышения качества обработки почвы, расширения мелиорированных и прежде всего орошаемых земель, обеспечения их эффективного использования. Специально остановился М. С. Горбачев на необходимости ускорения научно-технического прогресса в сельском хозяйстве, где успехи в использовании орошаемых земель, в животноводстве не соответствуют затратам сил и средств нашего общества.

Во всех этих областях почвенные зоологи могут и должны найти место приложения своих сил и знаний.

Из года в год земля дает урожаи, вознаграждая земледельца за труд, за умение, за внимание и уважение к ней. Плодородие почвы всегда будет обеспечиваться и удобрениями, и мелиорацией, и правильным управлением биологическими процессами почвы. Иначе неизбежно наступает почвоутомление, накапливаются вредители и возбудители болезней растений, ослабляются естественные механизмы повышения плодородия почвы.

Земледелие — не только древнейший род человеческой деятельности, оно и извечно мирное занятие. Только в условиях мира возможна реализация планов, рассчитанных на дальнюю перспективу. Только мир на планете способен обеспечить дальнейшее освоение природных богатств, обладание тайнами природы. В наш тревожный век об этом нельзя не думать.

СОДЕРЖАНИЕ

Гиляров М. С., Криволуцкий Д. А.

Г47 Жизнь в почве. — М.: Мол. гвардия, 1985. — 191 с., ил. — (Эврика).

В пер.: 55 к. 100 000 экз.

О жизни огромного и многообразного мира почвенных организмов, их роли в почвообразовательном процессе рассказывает эта книга. Особое внимание авторы уделяют проблемам окружающей среды, экологии и биоценологии.

Г $\frac{2005000000-298}{078(02)-85}$ 274—85 ББК 28.69 59

ИБ № 3863

Меркурий Сергеевич Гиляров, Дмитрий Александрович Криволуцкий

ЖИЗНЬ В ПОЧВЕ

Редактор **Л. Антонюк**

Художники **Г. Бойко, И. Шалито**

Художественный редактор **Т. Войткевич**

Технический редактор **Н. Баранова**

Корректоры **Н. Самойлова, И. Ларина, Н. Мейланд**

Сдано в набор 15.07.85. Подписано в печать 02.12.85. А00981. Формат 84×108 1/32. Бумага типографская № 2. Гарнитура «Обыкновенная новая». Печать высокая. Усл. печ. л. 10,08. Усл. кр.-отт. 10,5. Учетно-изд. л. 10,7. Тираж 100 000 экз. (1-й завод 50 000 экз.). Цена 55 коп. Заказ 1321.

Типография ордена Трудового Красного Знамени издательства ЦК ВЛКСМ «Молодая гвардия». Адрес издательства и типографии: 103030, Москва, К-30, Сущевская, 21.

Эврика

Меркурий Сергеевич
ГИЛЯРОВ

Дмитрий Александрович
КРИВОЛУЦКИЙ



Академик Меркурий Сергеевич Гиляров (1912—1985) — выдающийся советский биолог, создатель нового направления в науке — почвенной зоологии. Им опубликовано около 600 научных работ по зоологии, экологии, охране природы, почвенной зоологии, которые были отмечены Государственными премиями СССР.

Меркурий Сергеевич пользовался огромным уважением своих коллег, был вице-президентом Международного союза биологических наук, председателем Национального комитета биологов СССР, почетным членом 15 зарубежных научных обществ и академий наук.

Дмитрий Александрович Криволуцкий — профессор, доктор биологических наук, 20 лет работал вместе с Меркурием Сергеевичем. В настоящее время возглавляет лабораторию биоиндикации Института эволюционной морфологии и экологии животных АН СССР. Он автор 250 научных работ, лауреат Государственной премии СССР.

55 коп.

МОЛОДАЯ ГВАРДИЯ